

UN SILENCIO INQUIETANTE



LA NUEVA BÚSQUEDA DE
INTELIGENCIA EXTRATERRESTRE

PAUL DAVIES

Lectulandia

Los humanos somos una especie social y curiosa y, entre las muchas preguntas que nos hemos formulado, hay una que destaca tanto por su dificultad como por las profundas implicaciones asociadas a ella: la pregunta de si en algún lugar del Universo habrá surgido vida y, más aún, vida inteligente (entendiendo por inteligencia un tipo de habilidad que implica, entre otras características, el interés y la capacidad de plantearse la posibilidad de comunicarse con otros seres inteligentes que puedan existir en el Universo).

A cómo nos hemos planteado indagar en este tema, las dificultades que plantea y lo que se ha logrado hasta el momento, ha dedicado el notable físico y distinguido divulgador científico Paul Davies «Un silencio inquietante». Lo ha hecho en un momento oportuno, cuando se cumple medio siglo del establecimiento de un programa que se ocupa de buscar esa vida en el cosmos, el programa denominado SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence).

Combinando un muy amplio conjunto de temas (que incluyen, entre otros, cómo comenzó la vida en la Tierra y si mecanismos similares han podido darse en otros planetas, qué procedimientos técnicos se pueden emplear para intentar comunicarse con otros seres inteligentes, si la ciencia es un producto inevitable de la vida inteligente, qué es y cuáles sus posibilidades y la inteligencia artificial) y armado con lo mejor del conocimiento que nos aporta la ciencia, Davies concluye, como científico, que probablemente seamos los únicos seres inteligentes de todo el universo (una conclusión que habría soliviantado a Carl Sagan), aunque como ser humano sentimental y emocional, quiere creer en un universo en el que abunda la vida inteligente. Una ambivalencia de sentimientos que probablemente nunca se disolverá, salvo, claro está, que alguna vez encontremos vida inteligente en otro lugar del Universo.

Lectulandia

Paul Davies

Un silencio inquietante

La nueva búsqueda de inteligencia extraterrestre

ePub r1.1

koothrapali 22.08.14

Título original: *The Eerie Silence*

Paul Davies, 2010

Traducción: Joan Lluís Riera

Editor digital: koothrapali

ePub base r1.1

más libros en lectulandia.com

A veces creo que estamos solos en el universo, y a veces creo que no. En ambos casos, la idea es turbadora.

Arthur C. Clarke

PREFACIO

En agosto de 1931, Karl Jansky, un ingeniero de radio que trabajaba para Bell Telephone Laboratories en Holmdel, Nueva Jersey, realizó por casualidad un importante descubrimiento científico. A Jansky se le había encomendado la tarea de investigar un irritante ruido de fondo que interfería en la telefonía transatlántica. Para estudiarlo, construyó una simple antena con barras de metal que montó sobre cuatro neumáticos de coche, de modo que pudiera rotar, y procedió a registrar el ruido de radio procedente de distintas direcciones. La salida de aquel destartalado instrumento era un registro de papel y tinta. Jansky no tardó en registrar tormentas eléctricas, incluso a mucha distancia, pero lo que más lo intrigaba era un susurro de fondo que parecía seguir un ciclo de veinticuatro horas. Perplejo, lo estudió más a fondo y descubrió que el período era de 23 horas y 56 minutos, la duración de lo que los astrónomos conocen como día sideral, el tiempo que tarda la Tierra en realizar una rotación completa con respecto a las estrellas lejanas (a diferencia del día solar, que es el tiempo de una rotación con respecto al Sol). La periodicidad sideral implicaba que la fuente del ruido estático de radio provenía de la Vía Láctea. Sin embargo, antes de que pudiera investigarlo más a fondo, hubo de dedicarse a otras tareas que le encargó su empresa.

De esta manera tan poco llamativa había nacido toda una disciplina científica: la radioastronomía. Sin fanfarria ni medallas.^[P.1] Los siguientes progresos se produjeron, como a menudo ocurre en la ciencia, con la guerra. El desarrollo del radar durante la segunda guerra mundial conllevó un considerable aumento de la potencia y fidelidad de los receptores de radio, y ya en los primeros años de la posguerra, físicos y astrónomos vieron sus posibilidades. Utilizando equipos baratos que habían sobrado de la guerra, construyeron los primeros radiotelescopios de verdad, unos enormes discos que les permitieron recibir las emisiones del universo. Por aquel entonces, en la década de 1950, algunos científicos comprendieron que los radiotelescopios eran lo bastante potentes como para comunicarse a distancias interestelares, de modo que si en otros planetas había seres inteligentes, los humanos

podrían recibir sus mensajes de radio. El 19 de septiembre de 1959 la respetable revista científica *Nature* publicaba un artículo escrito por dos físicos de la Universidad de Cornell, Giuseppe Cocconi y Philip Morrison, titulado «En busca de comunicaciones interestelares», en el que los autores invitaban a los radioastrónomos a buscar mensajes de radio procedentes de civilizaciones alienígenas. Cocconi y Morrison concedían que sus ideas eran pura especulación, pero concluían con una observación pertinente: «La probabilidad de éxito es difícil de estimar; pero si nunca buscamos, la probabilidad de éxito será cero».^[P.2] Al año siguiente aceptaba el reto un joven astrónomo, Frank Drake, a quien va dedicado este libro. Drake utilizó un radiotelescopio de Virginia Occidental para comenzar a buscar señales de radio, y de sus esfuerzos nació el programa internacional de investigación SETI. SETI son las siglas inglesas de Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre, y desde los años 1960 ha animado a una heroica legión de astrónomos a barrer el firmamento en busca de cualquier signo de que no estamos solos en el universo. En 2010, SETI cumple oficialmente cincuenta años, lo que parece un buen momento para hacer balance. Este libro es un tributo a la dedicación, profesionalidad y contagioso optimismo de los investigadores del SETI en general, y, en particular, a la valentía y la visión de Frank Drake.

El tema del que se ocupa el proyecto SETI es especulativo en un grado muy superior al de la ciencia convencional. Hay que poner una gran dosis de cautela en toda discusión sobre civilizaciones extraterrestres. Pero conservar un sólido optimismo no debe impedir que nos acerquemos a SETI de una forma metódica e inquisitiva, armados con lo mejor del conocimiento que nos aporta la ciencia. Ése es el espíritu que me ha acompañado al escribir este libro. He tenido la precaución de separar los hechos y las teorías en las que tenemos alguna confianza, de las extrapolaciones razonables pero no contrastadas y, sobre todo, de la especulación más libre alentada en buena medida por las ideas de la ciencia ficción.

Yo no era más que un estudiante de secundaria cuando SETI comenzó, y aunque tenía una vaga idea de que existía, mis ideas sobre la vida más allá de la Tierra provenían casi de manera exclusiva de la ciencia ficción. Como tanta gente, aprendí más sobre el SETI gracias a las muchas apariciones en televisión del carismático científico Carl Sagan, cuya novela *Contacto*, y la posterior película que realizó Hollywood a partir del libro, convencieron a muchas personas de que SETI es una aventura humana sin parangón. Más tarde llegué a conocer bastante bien a los principales implicados en el proyecto, gran parte de los cuales trabajan en la actualidad en el Instituto SETI de California. Muchas de las ideas sobre las que he escrito en este libro nacen de mi larga y fructífera relación con ellos, y especialmente con Frank Drake, Jill Tarter, Seth Shostak y Doug Vakoch.

Pero no quería limitarme a escribir un anodino libro congratulatorio; al contrario,

decidí examinar a fondo los objetivos y suposiciones del proyecto. Mientras lo escribía, no dejaba de preguntarme si pasábamos por alto algo importante. A los viejos hábitos les cuesta morir, y a un proyecto que lleva cincuenta años en marcha, puede irle bien que lo sacudan un poco. En febrero de 2008 celebramos un taller en la Universidad Estatal de Arizona que, con el título «El sonido del silencio», animaba a pensar en formas radicalmente nuevas de abordar la evocativa pregunta, «¿Estamos solos?». El contenido de este libro es un buen reflejo de mucho de lo que se discutió durante aquel taller, y por ello agradezco su colaboración a todos los participantes.

También hay otros agradecimientos que debo concretar a continuación. El primero y más importante es para mi esposa Pauline Davies, una periodista y locutora científica, con una mente profundamente escéptica y una rigurosa e inflexible exigencia de precisión factual y escrupulosa argumentación lógica. No sólo cargó contra más de un descuido, sino que me ayudó a expresar de forma más clara muchas de las argumentaciones, y aportó otras tantas ideas propias que aparecen en el texto sin que se le atribuyan de manera específica. Mis puntos de vista sobre el tema del libro fueron tomando forma a lo largo de las muchas discusiones profundas que hemos mantenido con los años. Carol Oliver, antigua periodista y científica del SETI y en la actualidad astrobióloga, ha sido una valiosa colaboradora y un firme apoyo durante mi «carrera en el SETI». Gregory Benford, James Benford, David Brin, Gil Levin y Charles Lineweaver me ofrecieron valiosas críticas de algunas secciones del libro. Mi agente literario, John Brockman, ha sido durante décadas una fuente de estímulo y apoyo para mi carrera de escritor. Mis editores, Amanda Cook y Will Goodlad, han sabido llevar este proyecto con profesionalidad y simpatía; el texto ha mejorado enormemente gracias a las detalladas críticas de Amanda. Por último, quiero dar las gracias muy especialmente a Frank Drake, cuyas inspiradoras conferencias y artículos me atraieron hasta esta disciplina.

¿HAY ALGUIEN AHÍ?

La ausencia de pruebas no prueba la ausencia.

Donald Rumsfeld
(refiriéndose a las armas de destrucción masiva)

¿Y si ET llamase mañana?

Una mañana fría y neblinosa de abril de 1960, un joven astrónomo llamado Frank Drake tomó tranquilamente el control del disco 26m del Observatorio Nacional de Radioastronomía de EE. UU. en Green Bank, en el estado de Virginia Occidental. Pocos comprendieron que ese momento era un punto de inflexión en la ciencia. De forma lenta y metódica, Drake guió el gigantesco instrumento hacia una estrella parecida al Sol conocida como Tau Ceti, situada a once años luz de distancia, ajustó la frecuencia a 1.420 MHz y se dispuso a esperar.^[1.1] Su más fervoroso deseo era que, desde un planeta en órbita alrededor de Tau Ceti, unos seres alienígenas estuvieran enviando señales de radio en nuestra dirección, y que su potente antena pudiera detectarlas.

Drake miró con suma atención el puntero y el gráfico de tinta que registraba la recepción de la antena, cuyos irregulares espasmos iban acompañados de un siseo en los altavoces. Al cabo de media hora llegó a la conclusión de que nada importante venía de Tau Ceti, tan sólo el ruido blanco de la radio y el ruido natural de fondo del espacio. Respiró hondamente y reorientó con cuidado el gran disco hacia una segunda estrella, Épsilon Eridani. De repente, en los altavoces retumbó una serie de estruendos mientras el puntero registrador comenzaba a volar frenéticamente de un lado a otro. Drake casi se cayó de la silla. La antena había captado sin ninguna duda una fuerte señal artificial. El astrónomo se quedó tan pasmado que permaneció clavado en su sitio durante un largo rato. Por fin puso otra vez en marcha su cerebro y movió el telescopio ligeramente, apartándolo de su objetivo. La señal se desvaneció. Pero cuando devolvió la antena a su posición original, ¡la señal había desaparecido! ¿De verdad había captado una fugaz emisión de ET? Drake se dio cuenta enseguida de que captar una señal de una civilización alienígena en el segundo intento era demasiado bueno para ser cierto. La explicación debía estar en una fuente de origen humano, y, en efecto, resultó que la señal había sido producida por una base de radar militar secreta.

Con tan humildes comienzos (un proyecto caprichosamente llamado Ozma en honor a la mítica Tierra de Oz), Frank Drake se convirtió en el pionero del proyecto de investigación más ambicioso, y potencialmente más importante, de toda la historia. El programa SETI persigue dar respuesta a una de las preguntas más grandes de la existencia: *¿estamos solos en el universo?* La mayor parte del SETI es una elaboración del concepto original de Drake de barrer el espacio con radiotelescopios

en busca de alguna indicación de un mensaje procedente de las estrellas. No cabe duda de que se trata de una apuesta muy arriesgada. Las consecuencias de su éxito serían realmente trascendentes, y conmocionarían a la humanidad más aún que los descubrimientos de Copérnico, Darwin y Einstein juntos. Pero es como buscar una aguja en un pajar, con el agravante de que ni siquiera sabemos con certeza que la aguja se encuentre allí. Aparte de uno o dos misteriosos incidentes (de los que hablaremos más adelante), a día de hoy todos nuestros intentos se han saldado con un inquietante silencio. ¿Qué nos dice eso? ¿Que no *hay* alienígenas? ¿O que no estábamos buscando lo que debíamos en el lugar adecuado y en el momento adecuado?

Los astrónomos del SETI alegan que el silencio no es ninguna sorpresa: simplemente, todavía no hemos buscado con el suficiente ahínco durante el tiempo suficiente. Hasta el momento, las búsquedas sólo han escudriñado unos pocos miles de estrellas situadas a menos de unos cien años luz. Basta comparar eso con la escala de nuestra galaxia: cuatrocientos mil millones de estrellas distribuidas por más de cien mil años luz de espacio. Pero la potencia de búsqueda aumenta de manera continua, siguiendo su propia versión de la Ley de Moore de los procesadores: se duplica cada uno o dos años gracias a una eficiencia cada vez mayor de los instrumentos, y una creciente velocidad de proceso de los datos. Pronto la capacidad aumentará de manera drástica con la construcción de 350 antenas de radio interconectadas en Hat Creek, en el norte de California. Bautizada en honor del benefactor Paul Allen, la Matriz de Telescopios de Allen permitirá a los investigadores explorar una fracción mucho mayor de la galaxia en busca de señales alienígenas (véase la lámina 1). El complejo será dirigido por la Universidad de California en Berkeley y por el Instituto SETI, donde trabaja Frank Drake en la actualidad. El Instituto sigue siendo optimista acerca de las perspectivas de éxito, y siempre tiene champán fresco a la espera de una detección confirmada.



LÁMINA 1. Parte de la Matriz de Allen del Instituto SETI, en el norte de California. Se muestran dos de la multitud de antenas conectadas.

Es fácil imaginar la escena si se mantiene el optimismo y se descubre algo pronto.

Un astrónomo aguarda sentado estoicamente frente a los controles del instrumento, con los pies encima de una mesa repleta de papeles. Hojea distraídamente un libro de matemáticas. Así ha sido el trabajo, para él y para varias docenas de personas del SETI, durante décadas. Pero hoy es diferente. De repente, el aburrido astrónomo despierta de su diurna ensoñación a causa del ruido estridente e inconfundible de una alarma. El alarido lo genera un algoritmo informático diseñado para detectar señales de radio «extrañas» y separarlas del ruido sin orden que continuamente se recibe del espacio exterior. Al principio, el astrónomo da por hecho que se trata de una más de tantas falsas alarmas, por lo general transmisiones generadas por nuestra civilización que se cuelan a través de la red diseñada para filtrar las señales artificiales más obvias, como las procedentes de teléfonos móviles, radares y satélites. Siguiendo un protocolo consagrado por el tiempo, el astrónomo teclea unas simples instrucciones y desplaza el telescopio ligeramente a un lado de la estrella observada. La señal muere de inmediato. Ahora desplaza el instrumento de nuevo al objetivo; la señal sigue ahí. Tras estudiar con suma atención la forma de las ondas de radio y determinar que la fuente se mantiene en una posición fija en relación con las estrellas, el astrónomo se apresura a llamar por teléfono a otro de los observatorios del proyecto, al tiempo que envía por correo electrónico las coordenadas de la misteriosa señal.

A ocho mil kilómetros de distancia, una astrónoma abandona su lecho para investigar. Soñolienta, camina hasta la sala de control y se sirve un café. Se sacude el sueño y, con la mente alerta, lee su correo e introduce las coordenadas que le han enviado. En menos de un minuto, el segundo radiotelescopio se ha centrado en el objetivo e inmediatamente recoge la misma señal, alta y clara. A la astrónoma se le acelera el pulso. ¿Será posible que esta vez la alarma vaya en serio? Tras décadas de búsquedas sin ninguna recompensa, ¿será ella la primera persona de la Tierra que confirme que de verdad existe una civilización alienígena que transmite señales de radio? Sabe que harán falta muchas otras comprobaciones antes de llegar a esa conclusión, pero los dos astrónomos, enzarzados ahora en excitadas conversaciones de un continente a otro, eliminan de manera sistemática, una tras otra, todas las posibilidades mundanas hasta que, con un 90 por ciento de certeza, infieren que la señal es realmente artificial, no es humana y tiene su origen en un lugar muy distante en el espacio. Mientras los radiotelescopios siguen rastreando la señal de forma sincrónica, registrando cada minuto con sumo detalle, el aturdido par de astrónomos se comporta como en un sueño: atónitos, maravillados, eufóricos, todo a la vez. ¿Y ahora qué? ¿A quién se lo decimos? ¿Qué podemos descubrir con los datos que hemos recogido? *¿Cambiará el mundo para siempre?*

Hasta aquí, la historia (que debo admitir que incurre en ciertas licencias literarias) no exige un gran esfuerzo de la imaginación.^[1.2] La escena básica ya se ha representado adecuadamente en la película de Hollywood *Contact*, en la que Jodie

Foster encarna a una afortunada y sobrecogida astrónoma. Lo que no está tan claro es el siguiente paso. ¿Qué seguirá a la detección confirmada de una señal de radio alienígena? La mayoría de los científicos concuerda en que un descubrimiento como éste perturbaría y transformaría el orden de las cosas de múltiples maneras. Basta con imaginar la recepción de una señal recibida de quién sabe dónde para que se planteen muchas preguntas: ¿quién la evaluará?, y ¿cómo? ¿De qué manera se enterará de la noticia el público en general? ¿Se producirán disturbios sociales, o incluso cundirá el pánico? ¿Qué harán los gobiernos? ¿Cómo reaccionarán los líderes mundiales? ¿Se recibirá la noticia con temor o con asombro? Y, a largo plazo, ¿qué efecto tendrá sobre nuestra sociedad, nuestro sentido de la identidad, nuestra ciencia, tecnología y religiones? Además de estos imponderables, está la espinosa cuestión de si deberíamos responder a la señal enviando nuestro propio mensaje a los alienígenas. ¿Estaríamos buscando una catástrofe, como ser invadidos por una flota de naves espaciales bien armadas? ¿O significaría la liberación para una especie que tal vez se encuentre en una situación angustiosa?

No hay consenso sobre cómo responder a estas preguntas. El argumento de *Contacto* se aparta de la ciencia establecida en el momento en que se recibe la señal; entonces se zambulle en conjeturas como los viajes a través de agujeros de gusano y cosas espectaculares por el estilo. Eso es ciencia ficción nacida de la fértil imaginación del desaparecido Carl Sagan, el astrónomo de la Universidad de Cornell que escribió el libro en el que se basa la película. En el mundo real, no está nada claro qué ocurriría después de descubrir que no estamos solos en el universo. En 2001, la Academia Internacional de Astronáutica estableció un comité para que se ocupara de las cuestiones de qué hacer tras la detección. Conocido como «Grupo de Trabajo de Postdetección del SETI», su misión consiste en preparar el terreno ante la eventualidad de que el proyecto SETI alcance su objetivo. La idea es que una vez confirmada la recepción de una señal de una fuente alienígena, los acontecimientos se sucederían demasiado deprisa como para que la comunidad científica pudiera deliberar sobre qué hacer. El caso es que en la actualidad soy yo quien preside este grupo de trabajo, y esta posición especial me ha llevado a pensar con bastante detenimiento sobre el SETI en general, y en particular sobre la postdetección.

¿Está el SETI estancado?

He estado asociado con el SETI de un modo u otro durante casi toda mi vida profesional, y siento una enorme admiración por los astrónomos que controlan los radiotelescopios y analizan los datos, así como por el personal técnico que diseña y construye los equipos. Albergo la esperanza de que el inquietante silencio se deba realmente al hecho de que la búsqueda ha sido limitada, y soy un firme defensor de la matriz de telescopios de Allen. Pero también pienso, por razones que discutiré más adelante, que en este momento la probabilidad de recibir un mensaje de las estrellas es muy pequeña, de manera que creo en la necesidad de que, además del programa «tradicional» del SETI del tipo iniciado por Frank Drake, establezcamos un programa de investigación mucho más amplio, una búsqueda de marcas *generales* de la inteligencia, dondequiera que estén impresas en el universo físico. Eso requiere la participación de *todas* las ciencias, no sólo de la radioastronomía. Existe, no obstante, otro factor que debemos tomar en consideración. Al centrarse en una posibilidad muy específica (una civilización alienígena que envía hacia la Tierra mensajes de radio de banda estrecha, de frecuencia aguda), el SETI tradicional se ha quedado estancado en una suerte de atolladero conceptual. Cincuenta años de silencio es motivo más que suficiente para que pensemos en ampliar los horizontes de nuestros pensamientos sobre estas cuestiones. Lo crucial es que liberemos al SETI de los grilletes del antropocentrismo, que desde el principio ha limitado su libertad de movimientos. Para ayudar a iniciar este proceso, en febrero de 2008 organicé un taller de trabajo especial en el Beyond Center for Fundamental Concepts in Science de la Universidad de Arizona, con el objetivo de fomentar un animado intercambio de ideas entre los investigadores tradicionales del SETI y un puñado de pensadores originales y heterodoxos, entre los que se incluían filósofos, escritores de ciencia ficción y cosmólogos. El resultado fue una hoja de ruta para un «nuevo SETI», con algunas fantásticas ideas que describiré en los capítulos que siguen.

¿Cómo es posible que algo tan audaz y visionario como el SETI pueda convertirse en una institución conservadora? En buena parte, se debe a la tendencia de los seres humanos a extrapolar a partir de su propia experiencia. A fin de cuentas, los fundamentos del SETI descansan sobre la suposición de que nuestra civilización es en algunos aspectos típica, y que deben existir en el espacio otras Tierras con seres sintientes de carne y hueso no muy distintos de nosotros, e igualmente ansiosos por

comunicarse. Ante esta premisa, es lógico tomar la naturaleza y la sociedad humanas como modelo de una sociedad alienígena; al fin y al cabo, no tenemos mucho más en lo que apoyarnos. En los primeros tiempos del SETI, cuando se planificaba la estrategia básica, se plantearon muchas preguntas del tipo «¿Qué deberíamos hacer en esas circunstancias?». El resultado, inevitablemente, es un sesgo innato hacia el antropocentrismo.

He aquí un ejemplo clásico. El proyecto SETI se inició cuando se vio que los radiotelescopios tenían la capacidad de emitir y enviar señales hacia el espacio exterior y que, en consecuencia, también era posible que nos llegaran señales alienígenas. La imagen popularizada por Carl Sagan es la de una civilización alienígena que dirige un mensaje a la Tierra en forma de señales de radio de banda estrecha. No tardaron en añadirse los detalles: el mensaje se enviaría modulando una onda portadora y se transmitiría desde una antena a una frecuencia fija y con la potencia suficiente para destacarse por encima del ruido de radio de origen natural. Así es como lo hacen las estaciones de radio terrestres. Es fácil detectar las señales de banda estrecha una vez que la antena receptora ha sintonizado la frecuencia correcta (y, en el caso de los radiotelescopios, que apunten en la dirección correcta). Hay muchas otras maneras de codificar y transmitir mensajes de radio que requieren procedimientos más sofisticados, pero los astrónomos del SETI suponen que una civilización alienígena ansiosa por atraer nuestra atención adoptaría el método más simple apropiado para la tecnología de radio más básica.

Durante la década de 1960, una de las principales preocupaciones de los investigadores del SETI era decidir qué frecuencia concreta podría utilizar ET entre los miles de millones de posibilidades. No todas las frecuencias de radio penetran en la atmósfera terrestre de una manera eficaz, y se esperaba que los alienígenas hubieran adecuado sus señales a los planetas parecidos a la Tierra, usando una frecuencia que no resulte muy atenuada durante su tránsito desde el espacio exterior. Pero eso todavía dejaba un número enorme de canales de radio posibles. Sería una suprema ironía que un radiotelescopio se dirigiera a la estrella adecuada, pero no sintonizara la frecuencia correcta y por tanto, no detectara el mensaje. Los investigadores argumentaron que los alienígenas se anticiparían a nuestro dilema y escogerían una frecuencia «natural», una frecuencia que probablemente conocieran todos los radioastrónomos. Una conjetura popular era 1.420 MHz, la frecuencia de emisión del gas hidrógeno frío. Todos los astrónomos están familiarizados con la ubicua «canción del hidrógeno», y en cierto sentido es una buena elección. En cualquier caso, ésa fue la frecuencia que Frank Drake escogió para el Proyecto Ozma en 1960. Otros astrónomos propusieron que se multiplicara la frecuencia del hidrógeno por π , un número que los humanos consideraríamos una «signatura de la inteligencia» porque interviene tanto en la geometría como en las ecuaciones

fundamentales de la física, y por ello mismo debería resultar familiar para cualquier científico extraterrestre. Pero hay otros números especiales, como la base exponencial e o la raíz cuadrada de 2. Además, estaba la cuestión de si los alienígenas introducirían una corrección para compensar el movimiento de su planeta y/o de nuestro planeta.^[1.3] Enseguida la lista de frecuencias «naturales» adquirió una dimensión preocupante. No obstante, esta batalla de las bandas de emisión se desvaneció a medida que se desarrollaron tecnologías que permitían a los radioastrónomos examinar millones o incluso miles de millones de canales de radio (por lo general, de una anchura de 1 a 10 Hz) simultáneamente. En consecuencia, en la actualidad son pocos los investigadores del SETI que se preocupan por intentar adivinar la frecuencia elegida por los extraterrestres. Lo que intento resaltar es que progresos moderados de la tecnología humana han conseguido que, en el plazo de unas pocas décadas, hayamos cambiado nuestro modo de pensar sobre las posibles frecuencias de comunicación de los alienígenas. De este ejemplo se extrae una importante lección: lo inteligente es contemplar la situación a través de los ojos de la civilización que intenta comunicarse con nosotros, y suponer que ésta existe desde hace mucho tiempo, al menos un millón de años, quizá cien millones o más. Aunque los extraterrestres podrían decantarse por la radio como medio de comunicación (tal vez en beneficio nuestro), no podemos esperar que sepan distinguir entre los niveles de tecnología humana de las décadas de 1950 y 1980: ¿qué son unas pocas décadas en un millón de años?

Otro ejemplo: en la década de 1960, el láser comenzó a verse como un potente medio alternativo de comunicación entre los seres humanos, y muy pronto algunos investigadores del SETI comenzaron a defender que a buen seguro ET, al ser mucho más avanzado, preferiría utilizar esta nueva herramienta en lugar de la anticuada radio. La consecuencia de ello fue el nacimiento del SETI óptico (todavía en marcha): los astrónomos comenzaron a buscar una señal en forma de pulsos de luz de muy corta duración y gran intensidad que, con el instrumental adecuado, pueden distinguirse de la luz de la estrella madre, en conjunto más brillante pero invariable. La comunicación con láser llegó menos de un siglo después de la invención de la comunicación por radio, así que podemos preguntarnos de nuevo, ¿qué importa un siglo para una civilización de un millón de años?

Más provinciano aún resulta el SETI cuando se ve influido por la política humana, e incluso por la economía. Una de las principales incógnitas es la longevidad de una civilización que busca la comunicación. El desafío consiste en conjeturar si ET estará emitiendo durante siglos, milenios o aún más tiempo. Durante la guerra fría, muchos de los defensores del SETI argumentaron que el desarrollo de la comunicación avanzada por radio conllevaría desarrollos tecnológicos de un nivel similar, como el armamento nuclear. Como nuestra sociedad se hallaba entonces bajo

un grave peligro de aniquilación nuclear, estuvo en boga defender que, de modo parecido, las civilizaciones extraterrestres no podían durar demasiado. Tendrían su propia guerra fría, que al cabo de algunas décadas se volvería caliente y haría que dejaran de emitir. Cuando la guerra fría (de la Tierra) acabó, las preocupaciones políticas humanas viraron hacia el medio ambiente, y hacia ahí se dirigió la forma de pensar en el SETI. En la actualidad, el tema más candente, para muchos, ya no es la guerra nuclear, sino la conservación. Transmitir potentes ondas de radio a través de la galaxia requeriría un proyecto de ingeniería a gran escala que tragaría enormes cantidades de energía. ¿No deberíamos pensar que una civilización extraterrestre avanzada ajustaría su tecnología para minimizar su impacto ambiental? Tal vez sí, pero esta línea argumental se hubiera recibido con escepticismo en la atmósfera política de la década de 1960, y cabe la posibilidad de que se considere irrelevante de aquí a un siglo, cuando los problemas ambientales sean sustituidos por otro tipo de preocupaciones. No hay razón alguna para suponer que una supercivilización de un millón de años tenga un «problema de conservación». Podría tener otros problemas, desde luego, quizá algunos que ni siquiera podemos concebir, ni podríamos entender si nos los contaran. SETI es el proyecto a largo plazo por antonomasia, y sería necio fundamentar en exceso nuestra estrategia de búsqueda en la moda política del mes. Intentar adivinar las prioridades políticas de una civilización extraterrestre es un juego fútil.

Igualmente fútil es jugar a hacer conjeturas sobre la economía alienígena. Fijémonos si no en la novela *La guerra de los mundos*, de H. G. Wells, en la que los marcianos, hartos de habitar en un planeta inferior, deciden mudarse a la Tierra. Wells dibuja una imagen aterradora de unos alienígenas codiciosos, con una tecnología mucho más avanzada que la humana, que miran nuestro planeta con malicia, «... a través del abismo del espacio, unas mentes que son a nuestras mentes lo que las nuestras son a las de las bestias que cazamos, unos intelectos vastos y fríos y poco compasivos, acechan a nuestra Tierra con los ojos de la envidia, y despacio, pero con mano firme, diseñan sus planes contra nosotros».^[1.4] Wells escribió su relato en la década de 1890, en el punto más álgido del Imperio británico, cuando el poder y el dinero se medían en acres de tierra, toneladas de carbón y hierro, y cabezas de ganado. Los ricos construían ferrocarriles, poseían grandes barcos, minas de carbón, cobre u oro, y compraban grandes extensiones de pastos. En suma, en la época victoriana la riqueza consistía en cosas físicas. Así que lo natural era pensar que las civilizaciones alienígenas valoraban del mismo modo las tierras y los recursos minerales, y elaboraban planes para dispersarse por el espacio en busca de más, una vez agotadas las minas en su propio planeta. Eso era lo que más motivaba a los marcianos de Wells. Sin embargo, apenas un siglo más tarde, la economía global se había transformado completamente. En la década de 1990, Bill Gates era el nuevo

Rockefeller, pero no conseguía el dinero comerciando con «cosas físicas» sino con bits de información. Microsoft tenía más peso financiero que la mayoría de los países. Con la economía de la era de la información vino el SETI de la era de la información. Se concluyó entonces que, sin duda, los extraterrestres no podían ser tan primitivos y codiciosos como para recorrer la galaxia en busca de mineral de hierro, menos aún de oro o diamantes. Una comunidad extraterrestre avanzada debía valorar la información; *ésta* sería su moneda, su fuente de riqueza. La información y el conocimiento, unos incentivos más nobles, pasaron a dominar las motivaciones de los alienígenas. La codicia por la información podría impulsarlos a enviar sondas no para obtener materias, sino para explorar y observar y medir, para compilar una base de datos, una verdadera *Enciclopedia Galáctica*.^[1.5] A día de hoy eso parece razonable, pero cabe preguntarse qué peso tendrá el argumento de la información en 2090, cuando la economía tal vez gire alrededor de algo que todavía no podemos ni imaginar, y mucho menos inventar. Si las prioridades humanas pueden cambiar de forma tan drástica en un solo siglo, ¿qué esperanzas podemos albergar de adivinar las prioridades de una civilización que quizá haya pasado por un millón o más de años de desarrollo económico?

Las mismas críticas generales pueden plantearse respecto a la mayoría de los intentos teóricos por imaginar cómo es una civilización extraterrestre y cómo se comportan sus miembros. Es cierto que la historia de la civilización humana nos da pistas, y que ciertos principios generales *podrían* aplicarse a toda la vida inteligente. El problema es que sólo disponemos de una muestra de vida, una muestra de inteligencia y una muestra de alta tecnología. Se hace muy difícil discriminar entre las características que pueden ser específicas de nuestro planeta y los principios generales, si los hay, sobre la emergencia de la vida y la inteligencia en el universo. En estas condiciones, puede cederse a la tentación inevitable de buscar analogías con la humanidad al tratar de imaginar cómo es ET. Pero esa vía es casi con certeza falaz. Preguntarnos qué haríamos *nosotros* es prácticamente irrelevante. El enfoque estrecho y el provincialismo inherente al SETI tradicional no han escapado a la atención de Frank Drake. «Nuestras señales actuales son muy distintas de las de hace veinte años, las que entonces considerábamos modelos perfectos de lo que podrían emitir otros mundos en cualquier estado de desarrollo», escribe. «Estábamos equivocados. Si la tecnología puede cambiar tanto en sólo cuarenta años, ¿cuánto podría llegar a cambiar en miles o millones de años?»^[1.6] Ésa es, en pocas palabras, la cuestión. Sin embargo, este claro reconocimiento por parte del fundador del SETI tradicional todavía tiene que traducirse en aproximaciones nuevas y radicales en el frente de la búsqueda. En mi opinión, el camino que nos permitirá avanzar exige que dejemos de ver las motivaciones y actividades de los extraterrestres a través de ojos humanos. Pensar en SETI requiere que abandonemos todas nuestras presunciones

sobre la naturaleza de la vida, la mente, la civilización, la tecnología y el destino de las comunidades. En suma, requiere que pensemos en lo impensable.

Eso es estupendo, pero ¿es ciencia?

Aunque en la actualidad la comunidad científica se siente, en su mayoría, bastante cómoda con el SETI, al público en general le cuesta situar el proyecto en el paisaje científico. La gente quiere saber por qué buscar extraterrestres está bien pero buscar fantasmas no, por qué los mensajes de las estrellas son científicamente respetables pero no los de los muertos. ¿Dónde trazamos la línea entre la ciencia y la pseudociencia? Es una cuestión importante pero sutil que nos lleva directamente al corazón del método científico, y es imposible entender cómo funciona el SETI sin una explicación de esta distinción. Así que ahí va.

Carl Sagan declaró en una ocasión que «las afirmaciones extraordinarias exigen pruebas extraordinarias».^[1.7] Se refería entonces a las historias sobre ovnis (véase la sección final de este capítulo), pero la sentencia es de aplicación general. Sagan expresaba de una forma coloquial lo que de manera formal se conoce como regla de Bayes para la inferencia basada en la evaluación estadística de la evidencia. Thomas Bayes fue un clérigo inglés del siglo XVIII que comprendió que el peso atribuido a las pruebas dependerá de lo plausible que se juzgue la hipótesis a la que se refieren de antemano (lo que se conoce como probabilidad a priori o inicial). Veámoslo con un ejemplo cotidiano. Me levanto a las seis de la mañana y encuentro una botella de leche en la puerta de mi casa. ¿A qué conclusión llego? Hay dos hipótesis. La primera es que la leche la ha traído el lechero, tal como hace todos los días de la semana, salvo el domingo, porque tengo un contrato con una compañía local, Express Dairy. El lechero suele llegar a las siete de la mañana, pero tal vez hoy ha pasado más temprano. La segunda hipótesis es que la leche la ha dejado ahí una vecina altruista, la señora Jones, que tal vez tuviera una botella de más. La segunda hipótesis es una posibilidad muy remota, así que debemos asignarle una probabilidad a priori menor que a la primera. Para llegar a creerla, necesitamos «pruebas extraordinarias». ¿En qué podrían consistir éstas? Bueno, la señora Jones está apuntada a la compañía rival, United Dairy. Sus botellas de leche llevan grabada la marca «United» en un lado, mientras que las de Dairy Express llevan grabado «Express». Si la botella de hoy lleva la marca «United», volvería a evaluar la probabilidad de la explicación basada en la señora Jones. Pero ¿y si veo «Express»? ¿Elimino la hipótesis 2? No del todo. Tal vez el día anterior Express Dairy le hubiera entregado una botella a la señora Jones por error. Pero cuanto más forzada y extravagante sea la hipótesis, mayor tendrá que ser el peso de la evidencia antes de que pueda tomarla en serio. De hecho,

la probabilidad de que cualquiera de las dos hipótesis sea correcta es cero, porque ya nadie entrega la leche en la puerta de casa como solía hacerse, al menos no en los países donde he vivido. Así que este ejemplo es un poco nostálgico. (Pero cierto para Londres hasta la década de 1960. Mi mejor amigo, Brian, era el hijo del lechero, y a veces ayudaba a su padre a hacer el reparto. Recuerda incluso haberlo ayudado en el día de Navidad, tal era la calidad del servicio en los buenos viejos tiempos. Las botellas de leche se transportaban al principio en un carro tirado por un caballo, que solía recibir una zanahoria de regalo por Navidad. Luego los carros se sustituyeron por vehículos eléctricos, sin alma. Más tarde se retiró del servicio a los lecheros, junto con las botellas y el vehículo, que fueron sustituidos por los horribles cartones de los supermercados. Así es el progreso).

Aplicado a la ciencia y la pseudociencia, la regla de Bayes nos ayuda a asignar factores de credibilidad a afirmaciones contrapuestas. En un caso célebre, Thomas Jefferson dijo: «Antes creería que dos profesores yanquis mienten a que del cielo caen piedras», tras recibir el informe de unos testigos presenciales de la caída de unos meteoritos.^[1.8] Como muchos intelectuales del siglo XIX, Jefferson desdeñaba cualquier noticia sobre meteoritos basándose en que la probabilidad a priori que entonces se asignaba a la posibilidad de que hubiera piedras en el cielo era minúscula, mientras que la probabilidad a priori de que un profesor calumnioso se inventase una historia por avidez de fama no era tan pequeña. Hoy sabemos que el sistema solar está repleto de escombros de su formación, así que la probabilidad a priori que hoy asignaríamos a la historia de la caída de un meteorito sería mucho mayor. En consecuencia, nos sentiríamos inclinados a tomar en serio los informes al respecto. (Aunque no sin cautela: un amigo geólogo ha investigado varios informes de testigos presenciales de caídas de meteoritos, y todos resultaron ser interpretaciones erróneas).

Una queja persistente entre mis amigos que no son científicos es que la física moderna pretende vendernos todo tipo de ideas inconcebibles sobre dimensiones adicionales, materia oscura nunca vista, cuerdas invisibles, universos paralelos, agujeros negros que se evaporan, agujeros de gusano, etc., a pesar de que, en la mayoría de los casos, disponemos de poca o ninguna prueba experimental u observación que las respalde. En cambio, fenómenos como la telepatía y la precognición, que experimentan de primera mano miles de personas, son rechazados de inmediato por los científicos, que los califican de tonterías. ¿No es éste un caso flagrante de doble vara de medir? Hubo incluso quien retó de este modo a los científicos: «¿Cómo podéis negar la existencia de los fantasmas cuando aceptáis la existencia de los neutrinos, que son mucho más fantasmagóricos y nunca nadie los ha visto directamente?». (Los neutrinos son unas esquivas partículas subatómicas que en su gran mayoría atraviesan la materia sólida, lo que las hace extraordinariamente

difíciles de detectar).

La réplica rápida a esta queja es la «regla de Bayes». Lo que hay que destacar de la física moderna es que las entidades extrañas como la materia oscura o los neutrinos no se proponen a raíz de especulaciones aisladas, sino que forman parte de un gran cuerpo de teoría muy detallado que las predice. Están vinculadas a la física familiar y bien contrastada a través de razonamientos matemáticos coherentes y de gran generalidad. En otras palabras, *ocupan un lugar en una teoría sólida*. En consecuencia, su probabilidad a priori es elevada. La tarea del experimentador es contrastar la teoría. Si uno diseña y ejecuta un experimento para realizar una medición precisa de tal o cual cantidad, el valor exacto de la cual se ha predicho con antelación, el peso de las pruebas requeridas para creer que aquella entidad es real es mucho menor que si alguien simplemente tropezara con ella al azar, sin ninguna teoría que sostenga su existencia.^[1.9] Por lo que respecta a lo paranormal, la telepatía no es una idea totalmente absurda, pero yo necesitaría muchas pruebas antes de creer en ella porque no disponemos de ninguna teoría sólida que la respalde ni, desde luego, de modelos matemáticos que predigan cómo funciona o lo fuerte que es en distintas circunstancias. Así que le asigno una probabilidad a priori muy baja (aunque no cero). Si alguien concibiera un mecanismo plausible para la telepatía, respaldado por un modelo matemático adecuado que la relacionara con el resto de la física, y si la teoría predijese fenómenos específicos (por ejemplo, que la «potencia telepática» disminuye de un modo bien definido al aumentar la distancia, o que es el doble de fuerte entre personas del mismo sexo que entre personas de sexos opuestos), estaría dispuesto a pensar en ella seriamente. No sería difícil convencerme del todo si los resultados de experimentos confirmasen las predicciones. Por desgracia, no se vislumbra en el horizonte ninguna teoría con estas características, de modo que sigo siendo bastante escéptico sobre la telepatía pese a las muchas historias sorprendentes que he leído al respecto.^[1.10]

Pero volvamos al caso del SETI. ¿Cómo se sitúa respecto a la línea que separa la ciencia de la pseudociencia? Con esta pregunta abordamos de inmediato el problema fundamental de todo este proyecto. ¿Qué probabilidad a priori deberíamos asignar a la existencia de una civilización extraterrestre que se comunica? Nadie lo sabe. Si uno dispone de buenas razones para creer que ahí fuera hay algún ET y de una idea bien definida sobre la naturaleza de las señales, se hallará, por así decirlo, «preparado» para la evidencia y será fácil de ganar para la causa. Si uno cree que la sola idea de una civilización alienígena es increíble, necesitará muchas pruebas. En el capítulo 4 argumento que o bien las civilizaciones extraterrestres son muy comunes, o son extremadamente raras: la posición intermedia de que hay alguna que otra aquí y allá es intrínsecamente improbable.^[1.11] Así que quienes piensan que la idea de las civilizaciones extraterrestres es una especulación disparatada e injustificada ponen al

SETI en el dominio de la pseudociencia, mientras que otros que creen que la ciencia es plausible lo consideran ciencia real. Usted tendrá que llegar a sus propias conclusiones. Lo que, en cualquier caso, resulta incuestionable es que la *metodología* del SETI es ciencia real. La investigación se lleva a cabo con la tecnología más avanzada en manos de científicos con una sólida formación y utilizando técnicas de investigación y análisis rigurosas; además, los resultados se someten a crítica, como es común a todas las ciencias, mediante el sistema de evaluación externa. No hay duda de que los grupos de investigación realizan ciencia de calidad. Pero ¿intentan cazar una quimera? Mejor leamos un poco más...

Una breve historia de los extraterrestres

Las especulaciones sobre los alienígenas no comenzaron con los radiotelescopios. Hace dos mil quinientos años, el profeta Ezequiel caminaba junto al río Chebar, en la tierra de Caldea, cuando contempló un brillante torbellino que se acercaba desde el norte, del cual emergieron cuatro extrañas criaturas aladas, que de manera superficial «se asemejaban a hombres». Las criaturas venían acompañadas de cuatro ruedas voladoras que brillaban como si fueran de metal bruñido, y tenían unos «ojos» a lo largo de sus márgenes. Al cabo de un tiempo, las criaturas y las ruedas «se elevaron de la Tierra» y se fueron volando.^[1.12]

Este célebre pasaje bíblico no es, por supuesto, nada más que una historia inventada, el relato, tal vez, de un sueño o una visión, o quizá tan sólo una forma vívida de transmitir un mensaje religioso. No debe verse como un hecho histórico, y cabe presumir que nunca se concibió con esa idea. Su valor radica en que nos revela, a través de la lente de la historia, la forma de pensar de una cultura desaparecida hace mucho tiempo. Los israelitas, igual que muchos de sus contemporáneos, creían firmemente que la humanidad no era más que una forma más de seres sintientes en el universo. En la mayoría de las sociedades antiguas, los dioses, ángeles, espíritus y demonios se consideraban reales. Según se creía entonces, muchos de esos seres que no eran humanos habitaban en algún lugar más allá del cielo. Todos los mitos tradicionales de la creación hacen referencia a uno o más agentes poderosos que dieron origen al mundo, y que siguen visitando la Tierra de vez en cuando.

La idea de que los humanos compartimos el universo con otros seres no fue únicamente el producto de la mitología religiosa; fue también objeto de argumentación racional ya en el siglo V a. C. El filósofo griego Demócrito (460-370 a. C.) propuso la teoría atómica de la materia, según la cual el universo está compuesto en su totalidad por unas diminutas partículas indestructibles (los átomos) que se mueven en el vacío. En la teoría de Demócrito, todas las formas de la materia están constituidas por distintas combinaciones de átomos, y todo cambio no es más que una reordenación de los átomos. Demócrito postuló que si la naturaleza es uniforme, y si los átomos pueden asociarse en una combinación particular que forma la Tierra, poblada por plantas y animales, también en otras partes del cosmos los átomos podrían ordenarse de una manera parecida. Y concluye:

«Hay innúmeros mundos de distintos tamaños. En algunos no hay ni sol ni luna, en otros éstos son mayores que en el nuestro y otros tienen más de uno. Estos mundos

se encuentran a distancias irregulares, más en una dirección y menos en otra, y algunos florecen mientras otros están en declive. Aquí llegan a ser, allí mueren, y son destruidos por colisiones entre ellos. Algunos de los mundos no tienen vida animal o vegetal ni tampoco agua».^[1.13]

El argumento fundamental de Demócrito fue captado de forma muy vívida por el poeta romano Tito Lucrecio (99-55 a. C.) en su inspirado *De rerum natura*:

Si las reservas de átomos son inagotables,
mayores en número de lo que pueden contar los seres vivos,
si la misma potencia creadora de la Naturaleza estuviese también presente
para mezclar los átomos en uniones, del modo exacto en que están unidos
ahora,
habrás de confesar entonces
que existen otros mundos en otras regiones del firmamento,
y tribus distintas de hombres, y otras variedades de bestias salvajes.^[1.14]

Lejos de frenar las especulaciones sobre los seres extraterrestres, el nacimiento de la astronomía científica las alimentó. En la Edad Media, el modelo del sistema solar de Copérnico situó el Sol en el centro, y describió los planetas no como simples puntos de luz en movimiento, sino como otros mundos. Esta transformación promovió ideas fantásticas sobre la vida en esos otros planetas. En su libro *Somnium (El sueño)*, el astrónomo Johannes Kepler llegó incluso a describir una población lunar de criaturas reptilianas que poseían una inteligencia moderada, a las que llamó subvolvanos o privolvanos, dependiendo de la cara de la Luna en que habitaban. Sostenía asimismo que la Luna «existe para nosotros en la Tierra» y que, por tanto, las cuatro lunas de Júpiter deben existir para los jovianos. «A partir de esta línea de argumentación», declaró, «deducimos con el más alto grado de probabilidad que Júpiter está habitado.»^[1.15] Kepler no era el único que tenía estas fantasiosas ideas. El astrónomo holandés Christiaan Huygens produjo un tratado entero que tituló *Cosmothereos*, publicado en su forma final en 1698, en el que intentaba convencer a sus lectores de que había otros planetas habitados.

A lo largo de los tres siglos siguientes, las observaciones astronómicas mejoraron enormemente, y se redujeron las perspectivas de hallar vida inteligente en nuestro planeta. Al entrar en el siglo xx, sólo un planeta permanecía en la lista de candidatos: Marte. Cuando yo estudiaba secundaria, la creencia popular era que el planeta rojo podía estar habitado. Fue siempre el planeta preferido de los escritores de ciencia ficción, y la palabra «marciano» llegó a ser casi sinónimo de «alienígena». No puede descartarse en absoluto la presencia de vida en Marte. Es obvio que es menor que la Tierra, y por tanto tiene menos gravedad, y además está situado a mayor distancia del

Sol, por lo que es frío. Sin embargo, posee una atmósfera, aunque fina, y la temperatura de la superficie puede subir a veces por encima del punto de congelación del agua. A mediados del siglo XIX, los telescopios eran lo bastante grandes para revelar muchos rasgos de su superficie. Los astrónomos pudieron observar entonces cómo crecían y se encogían los casquetes polares, así como cambios del color que sugerían la presencia de vegetación.

En 1858, Angelo Secchi, un monje jesuita italiano, comenzó a cartografiar Marte y denominó *canali*, canales, a unos accidentes de aspecto vagamente lineal. Veinte años más tarde, un compatriota suyo, el astrónomo Giovanni Schiaparelli, produjo mapas mejores de Marte, y utilizó también el término de Secchi, *canali*. El sobrenombre se tradujo libremente al inglés como «canales», una palabra que sugería un carácter artificial. Los «canales» de Marte prendieron en la imaginación de un acaudalado escritor y viajero americano, Percival Lowell, quien construyó un observatorio en Flagstaff (Arizona) dedicado a estudiar Marte y buscar pruebas de la existencia de vida. Hacia el año 1900, Lowell estaba convencido de poder distinguir no ya signos de vida, sino de vida inteligente. Comenzó entonces a elaborar detallados dibujos que mostraban complejas redes de líneas, que interpretó como acueductos construidos por una civilización avanzada para transportar el agua fundida de los casquetes polares hasta las áridas regiones ecuatoriales (véase la lámina 2). Más o menos al mismo tiempo, H. G. Wells escribía su obra maestra, *La guerra de los mundos*.



LÁMINA 2. Los canales de Marte, según Percival Lowell.

En la época en que Wells y Lowell publicaron sus obras, no faltaban razones para creer que Marte podía albergar vida inteligente, una idea que persistió en algunos círculos hasta los albores de la era espacial. Entonces, en 1963, la NASA lanzó una sonda espacial llamada *Mariner* para sobrevolar Marte. Las imágenes que envió a la

Tierra mostraron un paisaje yermo, muy rico en cráteres, que se parecía más a la Luna que a la Tierra. Otras sondas que siguieron a *Mariner* midieron, para decepción de algunos, una presión atmosférica muy baja, sin trazas de oxígeno. Sin oxígeno no puede haber capa de ozono, así que la superficie de Marte es bombardeada por la fulminante radiación ultravioleta procedente del Sol. Un frío terrible, una atmósfera tenue y una superficie bañada por rayos ultravioletas constituyen una combinación bastante letal, de modo que las esperanzas de hallar vida en Marte comenzaron a desvanecerse. Es significativo que las sondas *Mariner* no encontraran ni rastro de los famosos canales, aunque fotografiaron sistemas fluviales secos. Los canales de Lowell resultaron ser un producto de su fértil imaginación, un caso más de pensamiento ilusorio que de datos científicos. Es una útil lección que merece la pena recordar al pensar sobre el SETI.

La vida entre las estrellas

Hoy podemos asegurar que las posibilidades de encontrar vida inteligente en otro planeta del sistema solar son nulas. El SETI, sin embargo, se centra en planetas extrasolares. Cuando Drake inició el proyecto Ozma, esto suponía en cierto modo un acto de fe, pues por aquel entonces los astrónomos no estaban seguros de que *hubiera* planetas más allá del sistema solar. Sólo se ha podido identificar algunos en el pasado reciente. Hasta la fecha, se han descubierto cerca de 400 en órbita alrededor de estrellas próximas de nuestra galaxia. En la mayoría de los casos, los hallazgos se han debido a dos métodos. El primero de éstos se basa en el hecho de que un planeta ejerce una fuerza sobre su estrella madre, haciendo que ésta se tambalee muy levemente. El análisis meticuloso de la luz de una estrella puede detectar este movimiento en forma de un desplazamiento periódico en su longitud de onda (lo que se conoce como efecto Doppler). Otra técnica busca ligeros cambios en el brillo de una estrella causados por el paso de un planeta por delante (lo que se conoce como método del tránsito). A día de hoy únicamente se ha podido fotografiar un solo planeta extrasolar como un objeto claramente distinguible de su estrella madre. La razón de que sea tan difícil captar una imagen es que el relumbre de la estrella madre ahoga por completo la débil luz del planeta; es como intentar detectar una luciérnaga contra la luz de un faro. Dado que tanto el método Doppler como el método del tránsito funcionan mejor con los objetos más masivos que describen una órbita cercana a la estrella (bautizados por la prensa como «júpiteres calientes»), pocos de los planetas identificados hasta el momento se asemejan a la Tierra. Recientemente se han catalogado varias «supertierras», unos planetas densos relativamente pequeños, pero todavía con una masa varias veces superior a la de la Tierra. No obstante, en su mayoría, los astrónomos están de acuerdo en que deben existir abundantes planetas del tamaño de la Tierra, y esperan ansiosos el desarrollo de mejores sistemas ópticos que algún día servirán para captar buenas imágenes de esas «otras Tierras». Entretanto, un satélite llamado *Kepler*, lanzado en marzo de 2009, está realizando un seguimiento en continuo de unas 100.000 estrellas durante tres años en busca de tránsitos. *Kepler* posee la sensibilidad suficiente para detectar planetas lo bastante pequeños, que se parezcan a la Tierra, aunque no para fotografiarlos.

Desde el punto de vista de si albergan o no vida, no basta con que un planeta tenga aproximadamente el radio de la Tierra. Para ser verdaderamente parecido al

planeta azul tienen que darse otras características que se consideran esenciales para la biología. Por ejemplo, el planeta debe poseer una atmósfera relativamente gruesa. Probablemente también necesite un interior caliente, tanto para generar un campo magnético que desvíe las radiaciones cósmicas letales como para impulsar una tectónica de placas (el movimiento de la corteza terrestre), importante para el reciclado de las sustancias químicas de la superficie. Sin duda, el requisito más crucial para la vida tal como la conocemos es que haya agua líquida: ninguna vida conocida puede funcionar sin ella. Estas condiciones han sugerido el concepto de «zona habitable», aquella región del espacio alrededor de una estrella donde la superficie de un planeta podría permitir la existencia de agua en estado líquido. En el caso del sistema solar, la zona habitable se extiende desde algún punto entre Venus y la Tierra (Venus es demasiado caliente para que haya agua líquida), hasta más o menos la distancia de Marte (que en su mayor parte, pero no siempre, es demasiado frío).

Estar «en la zona» requiere, idealmente, un planeta parecido a la Tierra en una órbita parecida a la de nuestro planeta alrededor de una estrella parecida al Sol. No obstante, hoy se reconoce que la visión tradicional de las zonas habitables es demasiado restrictiva y que conviene ampliarla para que incluya algunas otras posibilidades interesantes. Por ejemplo, una estrella fría, como las enanas rojas, podría poseer una estrecha zona habitable con un radio pequeño. En 2007, un planeta que podría albergar la vida fue descubierto alrededor de una enana roja llamada Gliese 581. El planeta es una supertierra que orbita apenas a 11 millones de kilómetros de su estrella madre (la Tierra, en comparación, orbita a 150 millones de kilómetros del Sol). Eso es lo bastante cerca para que el agua sea líquida aunque la estrella sea débil. Por desgracia para la vida avanzada, un planeta tan cercano a una estrella casi con certeza está bloqueado en una fase, con una de sus caras mirando siempre a la estrella, del mismo modo que la Luna siempre enseña la misma cara a la Tierra. Este tipo de bloqueo implica que la mitad del planeta siempre se está asfixiando de calor mientras la otra mitad está congelada, lo cual no es una situación ideal para la biología. No obstante, debería haber en los márgenes una zona de condiciones moderadas, donde podría darse al menos una vida primitiva.

Otra variación de la zona habitable sería el interior de planetas o satélites pequeños y helados. En los propios suburbios fríos de nuestro sistema solar, Europa, una luna de Júpiter, posee un océano líquido bajo una corteza de hielo, calentado gracias a la fricción de las mareas provocada por la gravedad de Júpiter (véase la lámina 3). Más lejos aún, el planeta enano Plutón se reconoce hoy como un miembro más de una gran clase de cuerpos helados, algunos de los cuales son ricos en varias sustancias químicas propicias para la vida. Los más grandes de entre ellos tienen el suficiente calor interior procedente de su formación, o por el efecto de

calentamiento de procesos químicos y radiactivos, para permanecer líquidos durante miles de millones de años. Otros sistemas planetarios casi con certeza contienen cuerpos parecidos con superficies heladas pero interiores líquidos. Si la vida apareciera en el interior de estos cuerpos de superficie helada, lo más seguro es que no pasara del nivel microbiano. Pero aunque en ellos evolucionasen entidades biológicas más complejas, no podemos más que especular sobre cómo sería la vida en tales condiciones. ¿Cuánto tiempo necesitarían unos seres sintientes, confinados en un hábitat líquido y absolutamente oscuro por un cielo sólido de cientos de kilómetros de grosor, para descubrir que más allá de su techo aparentemente impenetrable se extiende un vasto universo? Es difícil imaginar de qué modo podrían nunca «escaparse» de su gélida prisión y emitir mensajes de radio a través del espacio.



LÁMINA 3. Europa, un satélite natural de Júpiter, muestra una superficie cubierta de hielo desgarrado por estrías que, según se cree, están causadas por el deslizamiento del hielo contra un océano subsuperficial de agua líquida.

¿Y qué hay de todas esas historias de ovnis?

Las encuestas nos dicen que nada menos que cuarenta millones de estadounidenses han visto algo que han descrito como un ovni. Pero ¿qué es un ovni? Son las siglas de objeto volador no identificado, así que literalmente significa que nadie sabe lo que es. Pero la prensa ha transformado una negación (no sabemos) en una afirmación (sabemos que es... alguna otra cosa). En la imaginación popular, esa otra cosa es una nave espacial de otro mundo. Así que si alguien ve algo en el cielo que no puede identificar, es, según el razonamiento popular, una posible nave espacial extraterrestre.

Huelga decir que nada de esto impresiona a los científicos. Para empezar, la lógica es errónea. No ser capaz de identificar algo como X no significa que deba ser Y. Podría ser Z. Los ovnis se avistan a millares, y en su mayoría se explican fácilmente como extraños fenómenos meteorológicos, aviones observados en condiciones inusuales, planetas brillantes, etc. Cabe admitir que hay un puñado de casos difíciles, pero no hay ninguna línea divisoria clara que separe los casos que se resuelven de los que no. Así que es tentador concluir que si el 95 por ciento de los avistamientos puede explicarse sin demasiado esfuerzo, también podría explicarse el 5 por ciento restante si tuviéramos suficiente información a nuestro alcance, pues no hay nada que eleve ese residuo por encima del resto, aparte del hecho de que son más problemáticos.

Ésta es ciertamente la posición de muchos gobiernos que han establecido investigaciones sobre los ovnis. El gobierno británico ha registrado 11.000 casos desde 1950. Tras años restándole importancia a este estudio, recientemente hizo público un buen fajo de archivos de ovnis a instancias de la Ley de Libertad de Información. Pero a pesar de algunos casos enigmáticos, la conclusión del gobierno fue que, sea lo que sea ese residuo, no se trata de la obra de alienígenas. «El Ministerio de Defensa no niega que se vean cosas extrañas en el cielo», concedió un portavoz. Pero por otro lado... «ciertamente carece de pruebas de que hayan aterrizado en nuestro planeta naves espaciales extraterrestres».^[1.16]

Por su parte, Estados Unidos estableció el proyecto Blue Book en 1950 a fin de evaluar si los ovnis suponían una amenaza para la seguridad nacional. A lo largo de más de veinte años, se examinaron miles de informes y cientos de ellos se revisaron a fondo. Al final de este mastodóntico análisis, Edward Condon, un físico atómico bien conocido, fue requerido para emitir una evaluación. El Informe Condon concluía que

alrededor del 90 por ciento de los avistamientos podía explicarse como fenómenos naturales, mientras que el 10 por ciento restante no contenía suficiente valor científico o significado para la defensa como para justificar que el proyecto Blue Book continuase.^[1.17] En consecuencia, se le puso fin. Blue Book tenía contratado a un astrónomo como asesor científico, Allen Hynek, de la Universidad Northwestern de Illinois. Coincidí con este amable fumador de pipa en varias ocasiones mientras realizaba mis estudios postdoctorales, e incluso lo visité en su casa en Illinois, donde tenía una estancia llena de polvorientos archivos de ovnis. Eso fue en 1970. Fue Hynek quien ordenó los informes en varias categorías y acuñó el familiar término «encuentros en la tercera fase», que habría de convertirse en frase hecha después de que Spielberg la adoptara para su famosa película (a cambio de lo cual ofreció a Hynek, con pipa y todo, un cameo en la película). Tras varios años de arduas investigaciones, Hynek estaba convencido de que «ahí hay algo», aunque admitía que sólo una pequeñísima fracción de los casos constituía evidencia de algo verdaderamente extraño. Durante algún tiempo casi me convenció, o al menos me mostré dispuesto a abrir mi mente a la posibilidad. Pero con los años, a medida que fui pensando más en estos avistamientos inexplicables, comprendí hasta qué punto eran antropocéntricos: llevan todas las señales de las mentes humanas, no de las alienígenas. Así era, en especial, para los casos más difíciles, en los que los testigos afirmaban haberse encontrado con seres extraterrestres de carne y hueso. Casi siempre estos «ovninautas» tenían forma humanoide (a veces enanos y otras gigantes), y a menudo las descripciones sugerían algo salido directamente de un cásting de Hollywood. Más adelante discutiremos hasta qué punto es plausible que los viajeros del espacio se parezcan tanto a los humanos en su forma física. Otra característica reveladora era la banalidad de las supuestas intenciones de los alienígenas, que parecían consistir en revolverse en campos y cultivos, perseguir vacas o aviones o coches cual aburridos adolescentes, y abducir a seres humanos para realizar con ellos experimentos al estilo nazi. No es precisamente lo que uno esperaría de unas supermentes cósmicas.

En alguna que otra ocasión he podido resolver yo mismo algunos casos. Algunos fueron fáciles. Uno de ellos consistía en una película que mostraba una luz brillante que se alzaba desde el suelo por el este justo antes del amanecer, y que de manera gradual desaparecía de la vista en una media hora. Como bien sabe todo astrónomo aficionado, esa luz era Venus, presentándose como «lucero del alba» justo antes de la salida del Sol, como siempre ha hecho. Otra de las películas mostraba una serie de luces contra un cielo nublado, que descendían perezosamente con un ligero movimiento de vaivén antes de desaparecer. La película la había filmado una pareja que estaba acampada cerca de Stonehenge, en el sur de Inglaterra, un lugar preñado de historias de la antigüedad y de ambiente místico. Puestos a ver un ovni, no hay

mejor lugar. La película resultaba tan sorprendente que Granada Television, en el Reino Unido, decidió emitirla en las noticias de las seis de la tarde, seguida de una tertulia en directo en la cual me pidieron que participara. Llegué al estudio con tiempo y, naturalmente, pedí que me mostraran la película. En cuanto vi la secuencia supe lo que eran las luces: bengalas militares. Tuve suerte, pues poco tiempo antes había presenciado algo muy parecido. Le pedí al operador del estudio que ampliara las imágenes y, tal como esperaba, podían verse las estelas de humo. Las bengalas se habían encendido por encima de las nubes, bajo las cuales emergían después sostenidas por pequeños paracaídas, balanceándose con el viento, de modo que iban apareciendo una a una de las nubes mientras descendían lentamente hasta que se consumían. Una vez conocida la explicación, las luces dejaron de ser misteriosas. A nadie se le había ocurrido pensar que el hecho de que Stonehenge se encuentre cerca de una base de entrenamiento del ejército británico tuviera la menor relevancia. Granada TV intentó sin éxito vender la historia cuando ya estaba clara la explicación, incluidas las entrevistas en directo. Así que pedí a los campistas que describieran la escena. Al parecer habían observado las extrañas luces en la misma área de cielo durante varios días seguidos antes de filmarlas. Quise saber por qué no se habían acercado más si el fenómeno era tan predecible. «Lo intentamos», replicaron, «pero nos lo impidió el ejército, que estaba realizando maniobras en la zona». A la vista de todo esto, cabría pensar que mi explicación de las bengalas militares se admitiría de inmediato, pero no fue así. A los ojos de la pareja, y seguramente también de la mayor parte de los televidentes, los objetos que aparecían en la película eran realmente ovnis, sólo que *tenían el aspecto* de bengalas militares. Contra razonamientos como éstos no se puede ganar.

Lo mismo puede decirse de todas las teorías de la conspiración. Muchas personas están convencidas de que «el gobierno» conoce «la verdad» sobre los ovnis, pero la oculta por razones nefarias. Esto es superficialmente plausible, porque los gobiernos tienen, en efecto, la costumbre de ocultar cosas. Le pregunté a Seth Shostak, del Instituto SETI de California, que ha estudiado a fondo la cuestión de los ovnis, qué pensaba de todo ello. «¿Realmente podrían ocultar tan bien algo tan grande como esto?», me respondió, revelando su escepticismo. «Recuerda que éste es el mismo gobierno que gestiona el servicio de correos». También me hizo notar que los ovnis no son exclusivos de Estados Unidos: se avistan por todo el mundo. No es suficiente con que el gobierno de EE. UU. esconda la verdad durante décadas. ¿Qué pasa con los gobiernos, por ejemplo, de Bélgica y de Botsuana? Cabría esperar que cualquiera de ellos dejara filtrar alguna cosa de vez en cuando.

Nada de esto constituye un «solución» definitiva al «enigma» de los ovnis. No me sorprendería descubrir que una pequeña fracción de los casos correspondan a fenómenos atmosféricos o fenómenos psicológicos poco conocidos. Pero sea lo que

sea lo que está detrás de ese terco residuo de casos difíciles de explicar, no veo razón alguna para atribuirlos a las actividades de extraterrestres que visitan nuestro planeta en platillos volantes. Las historias de ovnis, como las de fantasmas, son entretenidas, pero no pueden tomarse en serio como prueba de que hay seres extraterrestres. No obstante, nos sirven como ventana para entender cómo imagina la mente humana a los alienígenas y su tecnología. Lo más sorprendente de todas estas historias no es lo que tienen de extraño y ajeno a nuestro mundo, sino su calidad claramente humana y mundana. De unos extraterrestres deberíamos esperar algo más extraordinario que unos seres humanoides que pilotan el equivalente de un avión militar invisible al radar con tecnología mejorada.

Como enseguida mostraré, el SETI nos obliga a esfuerzos de imaginación *mucho* mayores. Una cita célebre del biólogo británico J. B. S. Haldane dice que «el universo no sólo es más extraño de lo que suponemos, sino más extraño de lo que *podemos* suponer».^[1.18] Pensar en una verdadera inteligencia extraterrestre y en las marcas de una tecnología de varios millones de años significa que debemos despojarnos de tantos prejuicios mentales como nos sea posible. Olvidémonos de los pequeños seres verdes, de los enanos grises, de los platillos volantes con portillas, de los círculos en los cultivos, de las bolas brillantes y las aterradoras abducciones nocturnas. Aceptar el SETI implica ir más allá de los ovnis, más allá de los estereotipos de la mitología humana, más allá del folclore, las fábulas y la ciencia ficción. Incluso Oz, la tierra de fantasía que usó Drake para bautizar su proyecto Ozma, no es, parafraseando a Haldane, «lo bastante extraña». Para entender plenamente el significado del silencio inquietante tenemos que embarcarnos en un viaje hacia lo *realmente* desconocido.

LA VIDA: ¿MONSTRUO DE FERIA O IMPERATIVO CÓSMICO?

Ahora sabemos que el número de estrellas en el universo es algo así como un uno seguido de 23 ceros. Ante esa cifra, qué arrogante es pensar que el nuestro es el único planeta con vida, y el único sistema solar con vida inteligente.^[2.1]

Edward J. Weiler
director de la NASA

¿Un universo repleto de vida?

A la mayoría de la gente no le cuesta aceptar que haya innumerables mundos habitados dispersos por el espacio. Cuando se les pide que justifiquen esta creencia, la respuesta típica es que el universo es tan grande que *necesariamente* tiene que haber vida e inteligencia en algún que otro lugar. Es un argumento recurrente, pero que por desgracia incurre en una falacia elemental de la lógica: la de confundir una condición necesaria con una suficiente. Pensemos por un momento en los dos requisitos básicos para que exista vida en un planeta como la Tierra: el primero, el planeta con estas características; el segundo, la génesis de la vida. Supongamos que concedemos que, efectivamente, hay billones de planetas como la Tierra en el universo observable, una posibilidad que cada vez parece más probable; ¿garantiza eso que haya billones de planetas habitados? En absoluto. Que un planeta sea *habitable* no es lo mismo que decir que está *habitado*. Eso sería así solamente si la génesis de la vida estuviera garantizada en un planeta como la Tierra. Pero supongamos que la emergencia de la vida a partir de la materia inerte fuera un fenómeno muy infrecuente, un suceso que se produjese con una probabilidad tan baja que incluso con *un billón* de planetas habitables todavía fuera improbable que se produjera siquiera una sola vez. De poco valdría toda la vastedad del universo si la mano de cartas estuviera tan en contra de la formación espontánea de la vida.

¿Qué sabemos sobre el origen de la vida? ¿Ha sido pura chiripa, un accidente insólito que hace de la Tierra un objeto único en todo el universo observable? Muchos científicos distinguidos lo han creído así. Francis Crick, uno de los descubridores de la estructura del ADN, escribió en una ocasión: «El origen de la vida se nos antoja por el momento casi un milagro, tantas son las condiciones que tuvieron que satisfacerse para que apareciera».^[2.2] Jacques Monod, el bioquímico francés galardonado con el Premio Nobel por sus investigaciones para desentrañar los detalles del código genético, proclamó, en la misma línea, que «el universo no está preñado de vida, ni la biosfera del hombre... El hombre sabe por fin que está solo en la insensible inmensidad del universo, del que emergió sólo por azar».^[2.3] Por aquel entonces, la creencia en cualquier forma de vida extraterrestre, por no hablar de alienígenas inteligentes, se consideraba pura ciencia ficción, la materia de la que estaban hechas las películas malas de Hollywood, sin ningún tipo de base científica. En la década de 1960 yo era estudiante y mi fascinación ante la posibilidad de la vida extraterrestre se consideraba carente de todo crédito, rayana en la extravagancia. Era

como manifestar que uno creía en las hadas. El SETI, en particular, no se tomaba en serio. El distinguido biólogo de Harvard George Simpson describió la búsqueda de extraterrestres inteligentes como «el juego de azar con las probabilidades más adversas de toda la historia».^[2.4]

En la actualidad el péndulo se ha movido al otro lado. El biólogo Christian de Duve (como Monod, un premio Nobel) está tan convencido de que la vida debe haber surgido en planetas como la Tierra de todo el universo, que habla de un «imperativo cósmico».^[2.5] Hoy científicos y periodistas declaran a menudo que el universo está lleno de vida a rebosar. Cada pequeño descubrimiento sobre los planetas es presentado por los medios de comunicación como un paso más hacia el hallazgo de vida extraterrestre, incluso de vida inteligente. El congreso del año 2009 de la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia (AAAS por sus siglas en inglés), celebrado en un Chicago cubierto de nieve justo antes del lanzamiento de la misión Kepler en busca de planetas extrasolares parecidos a la Tierra, es una muestra típica de la nueva actitud. Varias sesiones se dedicaron a la astrobiología, una disciplina que aborda el estudio de la vida más allá de la Tierra. En una de ellas, Alan Boss, del Carnegie Institution de Washington, D.C., declaró con entusiasmo: «Si se tiene un mundo habitable y se deja actuar la evolución durante unos cuantos miles de millones de años, es inevitable que sobre él se forme algún tipo de vida... Sería imposible impedir que la vida se desarrolle en estos planetas habitables». Boss prosiguió presentando una implacable estadística: «Podría haber cien mil trillones de planetas como la Tierra en todo el espacio, así que es inevitable que haya vida extraterrestre».^[2.6] El periodista científico Richard Alleyne informó sobre este hecho en el *Daily Telegraph* del Reino Unido del siguiente modo: «La vida en la Tierra solía considerarse un accidente monstruoso que sólo se había producido una vez. Sin embargo, hoy los científicos están llegando a la conclusión de que el universo está repleto de organismos vivos».

Entonces, ¿qué punto de vista es el correcto? ¿Es la vida un accidente monstruoso, confinado a nuestro planeta, o un «imperativo cósmico», y por tanto abundante en todo el universo? La respuesta depende sólo de la probabilidad de que emerja la vida a partir de lo no vivo, así que tiene sentido buscar pistas en la forma en que la vida comenzó en la Tierra.

¿Cómo comenzó la vida?

Cuando Charles Darwin publicó su obra magna *El origen de las especies*, nos ofreció una explicación convincente de cómo, a lo largo de inmensos períodos de tiempo, la vida ha evolucionado desde unos simples microbios hasta la riqueza y complejidad que hoy vemos en la biosfera. Pero con toda la intención dejó fuera la explicación de cómo comenzó la vida. «Sería como especular sobre el origen de la materia», bromeó. Dos siglos más tarde seguimos estando casi a oscuras sobre el origen de la vida.

En realidad lo que tenemos son tres enigmas en uno: el cuándo, el dónde y el cómo de la biogénesis. Al menos la parte del cuándo comienza a estar clara. Tras unas cuantas refriegas académicas durante la última década, la mayoría de los biólogos coinciden en señalar que las colinas de Pilbara, en Australia Occidental, contienen trazas de la vida que se remontan a hace casi 3.500 millones de años.^[2.7] Estas antiquísimas rocas, hoy objeto de intensas investigaciones internacionales, afloran en medio de áridas colinas en un terreno salvaje y desolador a sólo cuatro horas en coche a través del desierto de arbustos desde la ciudad costera de Port Headland. Las observaciones a favor de la vida recogidas hasta el momento incluyen tapetes microbianos fósiles llamados estromatolitos y unas estructuras diminutas incrustadas en las rocas que muchos investigadores creen que son microfósiles. Recientemente, en la misma región se han hallado indicios de un ecosistema entero fosilizado.^[2.8]

¿Es posible que la vida existiera ya en una época aún más antigua? El problema a la hora de dar respuesta a esta pregunta es la escasez de rocas muy antiguas. Hay algunas en Groenlandia que se han datado en 3.850 millones de años, y que se encuentran ligeramente alteradas de un modo que es coherente con la actividad biológica, pero hay procesos no biológicos que también podrían ser responsables. Como es obvio, los organismos de Pilbara no aparecieron de repente con todas sus características: tiene que haber habido un período previo de evolución. Todo lo que podemos decir con cierta seguridad es que la vida ya se había establecido en la Tierra en algún momento entre hace 3.500 y 4.000 millones de años. Compárese esto con la edad de nuestro planeta: 4.500 millones de años.

Por lo que atañe a dónde comenzó la vida, el problema es mucho más arduo. Las colinas de Pilbara presentan las trazas de vida más antiguas de la Tierra, pero no hay razón alguna para suponer que la vida haya comenzado justamente allí. El propio

Darwin especuló sobre una «pequeña charca cálida» llena de sustancias químicas procedentes de las rocas adyacentes y energizadas por la luz del sol. Se han propuesto otros tipos de «caldo primordial», desde lagunas en proceso de secarse hasta el océano entero, pasando por gotitas en suspensión. Otros investigadores se decantan por las inmediaciones de los abrasadores líquidos que emanan de chimeneas volcánicas en el océano profundo. Mi preferencia, por si a alguien le interesa, es algún lugar muy por debajo del lecho marino (quizá hasta uno o dos kilómetros de profundidad) en los poros de las rocas atravesados por lentas corrientes de fluidos calientes de convección. A decir verdad, el lugar en cuestión es pura conjetura. Ni siquiera está claro que la vida haya comenzado en la Tierra; puede argumentarse que en realidad comenzó en Marte, por ejemplo. Marte y la Tierra han intercambiado rocas durante miles de millones de años, lanzadas al espacio por los bombardeos de cometas y asteroides; la superficie de Marte está salpicada de cráteres de impacto. La mayor parte de la materia lanzada al espacio acaba en órbita alrededor del Sol, pero una pequeña fracción acaba chocando con la Tierra, a veces tras un millón de años o más en el espacio. En el curso de la historia geológica, miles de millones de toneladas de materiales provenientes de Marte han acabado en nuestro planeta. Sólo falta un paso para imaginar que unos microbios marcianos acaben siendo transportados en alguno de estos objetos.^[2.9] Incrustados en lo más profundo de las rocas, protegidos de las duras condiciones del espacio, unos microbios resistentes podrían sobrevivir fácilmente durante el viaje interplanetario, sobre todo si tienen un estado de latencia como las esporas. Varios experimentos han confirmado que los microbios pueden resistir en el interior de las rocas las condiciones del espacio, así como la colisión que lanza la roca al espacio y la posterior entrada a gran velocidad en la atmósfera de la Tierra.^[2.10]

¿Por qué Marte? La evidencia a favor de que la vida haya comenzado allí no es precisamente abrumadora, pero es sugerente. Marte es un planeta más pequeño, así que debió desprenderse más deprisa del calor de formación, y por tanto estuvo listo para la vida antes que la Tierra. Durante unos 700 millones de años ambos planetas fueron golpeados ferozmente por objetos que variaban en tamaño desde pequeños guijarros a gigantescos asteroides de 500 km de diámetro. Las capas superficiales removidas por el bombardeo están empaquetadas de forma menos compacta en Marte que en la Tierra a causa de la menor gravedad de aquél, y por consiguiente habrían ofrecido un refugio más profundo frente a aquellas catástrofes para los microbios subsuperficiales. Marte tiene agua, aunque no mucha. Pero su relativa escasez podría haber beneficiado a la vida, a la que habría resultado más fácil sobrevivir al principio: en la Tierra, la energía calorífica liberada por los mayores impactos hacía hervir los océanos y envolvía el planeta en una atmósfera letal de vapor de rocas y vapor de agua supercalentado. En la actualidad, Marte es un desierto helado, como mucho

marginalmente habitable para los microbios terrestres, pero hace miles de millones de años era justo al revés: Marte era más favorable para la vida, con ríos y lagos, una atmósfera más gruesa y temperaturas superficiales más altas que en la actualidad. Nada de todo esto constituye un caso sólido a favor del origen marciano de la vida terrestre, pero sin duda amplía el abanico de posibilidades que debemos explorar para dar respuesta a la pregunta de dónde se inició la vida.

El problema más arduo respecto al origen de la vida es *cómo* se produjo. Es fácil darse cuenta de dónde está el principal obstáculo. La forma de vida más simple conocida es tan enormemente compleja que es inconcebible que un ser así haya surgido espontáneamente en una sola transformación y sólo por azar. En una célebre metáfora que en cierta ocasión usó el astrónomo británico Fred Hoyle, es más fácil creer que un torbellino atravesase una chatarrería y ensamble un Boeing 747.^[2.11] Sin embargo, aquí la palabra clave es vida «conocida». Nadie supone que el primer ser vivo fuese tan complejo como una bacteria. Deben ser posibles otras formas de vida más simples que sirvan de conexión entre el primer organismo y la vida tal como la conocemos hoy. Tal vez estos primeros organismos existan todavía en algún lugar y los hayamos pasado por alto por ser demasiado pequeños para atraer nuestra atención o porque estén confinados en un hábitat peculiar que los microbiólogos todavía no han estudiado (de lo que hablaremos más adelante). O igual se han quedado en Marte. Es igualmente concebible que los precursores más simples de la vida que nos es familiar hayan desaparecido hace mucho tiempo, consumidos o desplazados por formas de vida más complejas y sofisticadas, sin dejar ningún rastro.

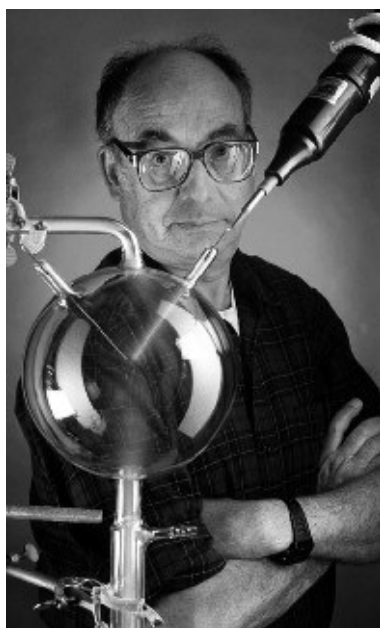


FIGURA 1. ¿La vida en un tubo de ensayo? Stanley Miller y su famoso experimento de síntesis orgánica.

La vida (al menos tal como la conocemos) es de naturaleza química. Eso puede parecer obvio, pero en el tema de estudio del SETI nada puede darse por hecho. Hace

doscientos años la vida se consideraba una suerte de materia mágica, animada por una misteriosa fuerza vital. Los científicos todavía utilizan el término «química orgánica», aunque hoy sabemos que las leyes de la química son las mismas tanto si una molécula se encuentra dentro como fuera de un organismo. En su mayor parte, las primeras conjeturas sobre el origen de la vida, como la pequeña charca caliente de Darwin, suponían que existía una vía química bien definida, aunque quizá larga y tortuosa, entre un cóctel químico amorfo y la primera célula viva organizada. El origen de la vida sería entonces algo análogo a cocer un bizcocho: habría una receta con los ingredientes necesarios y un procedimiento (calentar, secar, enfriar, etc.) para transformar las sustancias inertes en vida. Es una idea seductora que se vio reforzada por un famoso experimento realizado en 1952 por Stanley Miller, de la Universidad de Chicago. Instigado por el geoquímico Harold Urey, Miller llenó un matraz con metano, agua, amonio e hidrógeno, los gases que por aquel entonces se creía que formaban la atmósfera primitiva de la Tierra, y durante varios días sometió la mezcla a descargas de electricidad. Miller pudo congratularse de descubrir aminoácidos, las piezas básicas de las proteínas, en el poso que se formó en el fondo del matraz (véase la figura 1).

Muchos químicos vieron el experimento de Miller-Urey como el primer paso hacia la síntesis de vida en el laboratorio, recreando la misma vía química que la Madre Naturaleza habría seguido hace miles de millones de años. Por desgracia, esta línea de investigación, que en la década de 1950 parecía tan prometedora, resultó ser un callejón sin salida. Los aminoácidos son indiscutiblemente las piezas básicas para la síntesis de las proteínas, pero se hallan tan lejos del producto final como el ladrillo del Empire State Building. Además, son fáciles de hacer, y se encuentran de forma natural en meteoritos e incluso en las nubes de polvo interestelar. Llegar más allá de los aminoácidos, por no decir llegar a los ácidos nucleicos (la base de la herencia) ha resultado imposible por el procedimiento de impartir energía a un caldo. Si la vida fue incubada por sucesivas transformaciones químicas, es improbable que fuera de este modo.

Desde el experimento de Miller-Urey, nuestra comprensión de la naturaleza de la vida ha experimentado una revolución. Aquel mismo año, Francis Crick y James Watson publicaron su artículo sobre la estructura del ADN, y a lo largo de las décadas siguientes los científicos han ido pasando de considerar la célula viva como algo mágico a verla más bien como una supercomputadora. No cabe duda de que la vida utiliza la química para ejecutar su programa, pero la clave de sus cualidades casi mágicas radica en la forma en que las células procesan y replican la información. Eso le da otro cariz al rompecabezas de la biogénesis, porque ahora la cuestión esencial es cómo pueden emerger de manera espontánea el almacenamiento y la replicación de la información, y no cómo unas sustancias químicas naturales pueden haber reaccionado

para «animar» a la materia. Como es obvio, una parte crucial de esta historia es la complejidad. Para ajustarse a la descripción de «vivo», un sistema tiene que hacer algo más que replicar información (un simple cristal de sal puede hacerlo): tiene que ser lo bastante complejo para poseer cierta forma de autonomía. Dicho de otro modo, el contenido de información tiene que ser lo bastante grande para que el sistema se haga cargo de su propio programa, para que, literalmente, «adquiera vida propia». No está nada claro dónde se sitúa ese umbral de complejidad; no obstante, los microbios autónomos naturales más simples que se conocen contienen por encima de un millón de bits de información. Las áreas de la investigación relevantes para este problema son el estudio de los sistemas con organización propia, el autoensamblaje de estructuras moleculares, la teoría de la información y de la complejidad en general, y un campo de investigación incipiente conocido como biología sintética, en el que los investigadores pretenden diseñar y construir sus propios organismos a partir de cero en el laboratorio. Éstas son disciplinas emocionantes que avanzan con gran rapidez, pero todo lo que puede decirse en este momento es que el problema del origen de la vida queda muy lejos de una formulación clara, sin que su resolución se atisbe siquiera en el horizonte.

Aunque nunca lleguemos a saber cómo se originó la vida, tal vez podamos resolver el enigma menor de si aquel origen fue fortuito o un evento probable. Desde el punto de vista del SETI, todo lo que realmente necesitamos saber es si la vida se origina fácilmente y, por consiguiente, es común en el universo, como se suele creer.

La vida como un hecho fortuito

Para un físico como yo, la vida es poco menos que mágica: ¡todas esas moléculas estúpidas colaborando para conseguir cosas tan ingeniosas! ¿Cómo lo consiguen? No hay ningún director, ningún coreógrafo que dirija la actuación, no hay espíritu de cuerpo, ni voluntad colectiva ni fuerza vital, tan sólo átomos inconscientes que se tiran y empujan, agitados por fluctuaciones térmicas aleatorias. Sin embargo, el producto de todo ello es una exquisita y muy característica forma de orden. Incluso a los químicos, que están familiarizados con los sorprendentes poderes transformativos de las moléculas, les resulta pasmoso. George Whitesides, catedrático de química de la Universidad de Harvard, escribe: «¿Hasta qué punto es notable la vida? La respuesta es: *muy notable*. Quienes nos dedicamos a estudiar las redes de reacciones químicas no conocemos nada que se le parezca».^[2.12] Whitesides resalta lo difícil que resulta imaginar cómo se originó un sistema tan complejo y de organización tan específica: «¿Cómo pudo transformarse un lodo químico en una rosa, aun con miles de millones de años para intentarlo?»^[2.13] ... Nosotros (o por lo menos yo) no lo entendemos. No es imposible, pero parece muy, muy improbable».^[2.14] Lo que nos lleva directamente al núcleo de la cuestión: ¿en qué medida es improbable? Todo el programa del SETI depende de la respuesta. Whitesides añade: «Pero ¿en qué medida es probable que un planeta recién formado, con condiciones que permitan agua líquida en la superficie, dé origen a la vida? Por el momento, no tenemos la menor idea, ni tampoco una manera convincente de estimar esta probabilidad. Por lo que sabemos, la respuesta cae en algún lugar entre “imposiblemente improbable” y “absolutamente inevitable”. No podemos calcular la probabilidad de la emergencia espontánea de la vida celular en una tierra prebiótica plausible de ningún modo que sea satisfactorio y convincente».^[2.15]

Quizá sería distinto si la disposición de sustancias químicas en la célula siguieran algún tipo de pauta; por ejemplo, si las secuencias de aminoácidos que conforman las proteínas contuvieran regularidades matemáticas que pudieran referirse a alguna ley natural subyacente. Pero no parece que exista ningún orden de ese tipo: las secuencias químicas parecen deberse por completo al azar, que es lo que llevó a Monod a su desoladora conclusión. Pero no son arbitrarias: en muchos casos el más pequeño cambio en una secuencia puede comprometer seriamente su funcionalidad biológica. Así que la disposición es *a un tiempo* aleatoria y altamente específica, una combinación de cualidades peculiar, única incluso, que resulta difícil de explicar por

medio de fuerzas físicas deterministas.^[2.16] Por otro lado, si lo que predomina en el origen de la vida es el azar, las probabilidades de obtener justamente *esa* disposición de las moléculas es infinitesimal, el torbellino en la chatarrería. Visto de este modo, la vida es una monstruosidad, un extraño fenómeno que apareció de forma totalmente fortuita, un proceso tan extremadamente improbable que podemos afirmar que sólo se produjo una vez en todo el universo observable. El hecho de que seamos testigos de tal milagro no es, por supuesto, ninguna sorpresa, sino un efecto inevitable de la selección: los observadores sólo pueden existir allí donde hay vida.^[2.17]

Pese a que estos hechos invitan al desánimo, hoy en día la creencia en la vida extraterrestre está muy extendida entre los científicos. Entonces, ¿qué es lo que ha cambiado desde los tiempos de los pesimistas como Crick, Monod y Simpson? Curiosamente, en el frente científico, apenas nada. Es cierto que ahora estamos razonablemente seguros de que hay muchos planetas en el universo, pero eso sólo confirma lo que los astrónomos ya sospechaban en los escépticos años sesenta. Desde entonces, se han hallado en el espacio algunas moléculas orgánicas básicas, en cometas y nubes moleculares, pero como ya he comentado, fabricar las piezas básicas de construcción de la vida es fácil, y tiene muy poca relevancia para el problema de cómo ensamblarlas en las ordenaciones tan complejas que caracterizan la vida, sobre todo de un modo que procese información de manera sistemática. Tal vez el cambio más relevante sea el descubrimiento de que los microorganismos pueden resistir un abanico de condiciones mucho más amplio de lo que se había observado hace unas pocas décadas, lo que implica que hay más planetas que, en principio, podrían sostener formas de vida simples. Pero esto sólo aumenta ligeramente la gama de planetas que podríamos calificar de «parecidos a la Tierra». No altera para nada el hecho de que el origen de la vida podría haber sido un evento extraordinario.

Se da mucha importancia al hallazgo de signos de agua líquida, por ejemplo en Marte. La NASA tiene un mantra no oficial, «sigue el agua», como si la vida hubiera de esperarnos obedientemente allí donde encontremos un lago o un océano. A menudo se señala que en la Tierra, allí donde hay agua líquida hay vida. Es cierto que el agua líquida es esencial para la vida tal como la conocemos, pero la argumentación según la secuencia planetas → agua → vida es otro ejemplo patente de confusión de una condición necesaria y una condición suficiente. El agua líquida podría ser necesaria para la vida, pero está lejos de ser suficiente: puede haber muchas otras condiciones que también se requieran. En la Tierra, encontramos vida en casi todos los hábitats con agua líquida no porque haya aparecido allí de manera espontánea, sino porque la hidrosfera de la Tierra forma un sistema más o menos continuo, de modo que la vida ha podido dispersarse e invadir todos esos lugares con agua. Seguir el agua en el espacio no está desencaminado, pero recuerda al hombre que pierde sus llaves en la oscuridad y sólo las busca debajo de una farola, no porque sea más

probable que estén ahí, sino porque sería imposible encontrarlas en otro lugar.

Ninguno de los descubrimientos científicos del último medio siglo ha alterado mucho lo que sabemos, o no sabemos, sobre la naturaleza aparentemente extraordinaria de la vida. Yo creo que nuestro cambio de actitud se debe más a la moda que al descubrimiento. En un momento en que los físicos especulan libremente sobre otras dimensiones, antigraavedad y materia oscura, y en que los cosmólogos proponen múltiples universos y energía oscura, la especulación sobre la vida extraterrestre parece muy moderada en comparación. Me parece bien. Especular es divertido, y es ciertamente posible que ET esté ahí fuera. O no. Sin embargo, nunca debemos permitir que la especulación reemplace a la ciencia real.

Una forma de conseguir que la ciencia real se implique en esta polémica consiste en ver si el «imperativo cósmico» de De Duve se corresponde con la realidad. ¿Es posible que las leyes de la naturaleza estén de algún modo amañadas a favor de la vida, haciendo que su emergencia sea mucho más probable de lo que la simple mezcla al azar de las moléculas podría implicar? La respuesta es que no, o al menos no a primera vista. Ya he mencionado que no se aprecia ninguna pauta discernible en las secuencias de aminoácidos en las proteínas. Lo mismo puede decirse de las secuencias de pares de bases, las «letras genéticas» del ADN. Todo parece aleatorio. Si las leyes de la física y la química conspiran de algún modo para llevar la materia a la vida por una vía directa, en contra de todas las probabilidades, nada de eso se percibe en el producto final, las propias estructuras moleculares. De hecho, las leyes de la física y la química son completamente indiferentes a las secuencias de pares de bases en el ADN o de los aminoácidos en las proteínas: no muestran ningún favoritismo por una secuencia en contra de otra.^[2.18] Algunos ensayistas declaran que la vida está «escrita» en las leyes de la naturaleza, pero si está escrita en las leyes de la física y la química, aún es hora de que encontremos alguna señal de que es así. Esto no sorprende a ningún físico. Al fin y al cabo, las leyes de la física son universales. Que en ellas esté escrita «la vida» no es más probable que tuvieran escrito «ordenador portátil» o «Montañas Rocosas». La vida, los ordenadores y las montañas son coherentes con las leyes de la física, pero las leyes solas no bastan para explicar su existencia.

¿Invalida esto el imperativo cósmico? No necesariamente. Las leyes básicas de la física podrían no agotar todas las leyes posibles. Por ejemplo, existen regularidades que se acercan a leyes, por su naturaleza tan general, que describen a los sistemas complejos que se organizan ellos mismos, sistemas tan diversos como las colonias de hormigas, los mercados de valores e Internet. Estas leyes «de la organización» *complementan* a las leyes fundamentales de la física, no las suplantán ni invalidan. Podría ser que la vida sea el producto de una ley emergente (o de nivel superior) de este tipo, quizá una ley del incremento de la complejidad que actúe no

universalmente como las leyes de la física, sino en sistemas especiales (aunque no especialmente improbables) que satisfagan unas condiciones que todavía desconocemos. De ser así, todo lo que haría falta sería que el azar creara uno de estos sistemas especiales, tras lo cual la ley lo llevaría hacia la vida. Personalmente, hace tiempo que me atrae la posibilidad de estas leyes de nivel superior, por ejemplo leyes de incremento de complejidad, pero no me cuesta admitir que de momento apenas hay indicios de que existan.^[2.19] Volveremos sobre este tema en el capítulo 8.

Otra línea de argumentación a favor del imperativo cósmico proviene de diversos juegos matemáticos en los que una conducta «parecida a la de la vida» parece emerger sin esfuerzo incluso cuando las reglas del juego son muy simples. Una de estas clases de juegos, los llamados autómatas celulares, nos ofrece un mundo de caricatura en el que los cuadrados de un tablero como el del ajedrez se llenan o no conformando una pauta que luego evoluciona de forma determinista de acuerdo con unas reglas simples. Un autómata celular en particular, concebido por el matemático británico John Conway en 1970 y que de manera apropiada se conoce como *El juego de la vida*, se ha puesto bastante de moda, pues exhibe una ecología de formas, notables por su riqueza y complejidad, que se mueven e interaccionan.^[2.20] Si unos procesos simples «jugados» en combinación pueden generar una complejidad con una organización cada vez mayor, es posible que el secreto de la vida no sea tan sutil después de todo. Por otro lado, la vida real se halla tan lejos de *El juego de la vida* como un ratón de Mickey Mouse. Las representaciones matemáticas simples son entretenidas, pero no deben confundirse con la realidad. Como mucho, un autómata celular inclina la balanza ligeramente a favor de la idea de que la vida aparece con facilidad.

Aunque no se haya encontrado nada parecido a un «principio de la vida» enterrado en las leyes de la física, los biólogos concuerdan en que existe al menos un principio organizativo que sustenta a todo lo vivo: la evolución darwiniana. Todo sistema que experimenta replicación con variación y está sujeto a selección natural evoluciona con el tiempo. Este principio, que realmente es una perogrullada (sólo dice que las entidades que se replican más eficientemente aumentan su abundancia relativa en la población), puede tomarse como definición de la vida. La evolución puede conducir a una mayor complejidad, aunque no necesariamente. De modo que la vida *podría* haber comenzado con algo comparativamente simple, por ejemplo una población de pequeñas moléculas replicantes. Tal vez estas moléculas sean lo bastante simples para formarse de manera espontánea en muchos ambientes; incluso podrían estar formándose en la Tierra en la actualidad. Una vez los replicantes moleculares iniciales se ponen en marcha, puede intervenir la evolución darwiniana, empujando la complejidad cada vez más arriba, hasta que por fin emerge algo que se acerca a la familiar célula viva. Lo importante es que el darwinismo no tiene que

esperar a que surja la vida celular antes de hacer su magia; podría ser igualmente efectiva a nivel molecular. Esta afirmación es fácil de hacer, pero deja abiertas muchas preguntas, entre ellas la identidad de los primeros replicantes. ¿Qué eran exactamente esas moléculas? Nadie lo sabe, aunque el químico Graham Cairns-Smith ha conjeturado que podría no tratarse siquiera de moléculas orgánicas; él se decanta por cristales impuros de arcilla.^[2.21]

De hecho, no es necesario siquiera que la vida comience con estructuras replicantes. Todo lo que hace falta es la replicación de *información*. Los bits de información pueden representarse siempre que exista una pauta en una estructura física. Esta pauta puede replicarse reproduciendo la propia estructura o simplemente copiándola en un «espacio en blanco». Por ejemplo, cuando transfiero un archivo informático desde una memoria externa a una sección vacía del disco duro de mi ordenador, éste no hace una copia física del interior de la memoria externa. Lo que ocurre es que los bits de información (es decir, una pauta eléctrica) de la memoria externa se copian en el disco duro. Lo que se replica es el software, no el hardware, el código y no el soporte físico. La vida podría haber comenzado simplemente en forma de pautas que se copiaban, con pequeñas variaciones, y estaban sujetas a una presión de selección. Las pautas pueden ser cualquier cosa, por ejemplo complejas teselaciones magnéticas o eléctricas o matrices de átomos en rotación, acopladas a una fuente de energía externa.^[2.22]

La vida en un tubo de ensayo

Muchos científicos creen que pronto seremos capaces de fabricar la vida nosotros mismos, en un laboratorio. En un sentido limitado, ya se ha hecho. En 2002, un equipo de la Universidad Estatal de Nueva York, Stony Brook, logró ensamblar un virus de la polio a partir de cero, usando para ello piezas de construcción moleculares disponibles comercialmente. Pero un virus no es un organismo plenamente autónomo (no puede reproducirse por sí solo). Las bacterias sí lo son, y Hamilton Smith y sus colaboradores del Instituto J. Craig Venter de California han conseguido ensamblar un genoma bacteriano sintético entero de 582.970 pares de bases. Lograron insertarlo después en una bacteria hospedadora, pero en el momento de escribir esto todavía tenían que convencer a su genoma sintético para que se «pusiera en marcha» e hiciera algo. El propio Craig Venter ha estado modificando el material genético de pequeñas bacterias para crear la célula autónoma más simple posible. Por significativos que sean estos progresos, se impone la cautela. Los dos últimos experimentos no pueden calificarse de intentos de «hacer vida». Se trata más bien de adaptar organismos existentes, en toda su fenomenal complejidad, para hacer nuevos tipos de organismos.

Aun en el caso de que se llegue a construir un microbio entero y autónomo *ab initio*, sin usar para ello ninguna forma de vida preexistente, no quedaría resuelta la cuestión del imperativo cósmico. La vida comenzó en la naturaleza sin la ayuda de laboratorios de alta tecnología y delicados procedimientos implementados paso a paso en unas condiciones meticulosamente controladas. Por encima de todo, comenzó sin la ayuda de un diseñador inteligente como Craig Venter, que parte con un fin específico en mente. La Madre Naturaleza creó la vida en las mugrientas condiciones de un planeta recién formado (o en algún otro lugar; no lo sabemos), aprovechando para ello reacciones químicas naturales y azarosas, sin ningún «destino» preconcebido que guíe y conforme las reacciones. Lo que ocurrió simplemente ocurrió. Como es obvio, es *posible* hacer la vida en un laboratorio; basta con unir las moléculas adecuadas del modo adecuado. Pero no hay nada milagroso en ello; las dificultades son técnicas, sólo cuestión de generar los recursos suficientes; con el tiempo, el dinero y el esfuerzo suficientes, puede hacerse. Pero no arrojará mucha luz sobre si la vida es común en el universo. Si resultase que hay muchas maneras distintas de fabricar la vida en el laboratorio, y si no se necesitasen muchos pasos cuidadosamente controlados para «ponerla en marcha», aumentarían las

probabilidades del imperativo cósmico. Pero crear un organismo totalmente sintético no prueba, por sí solo, que la vida sea ubicua.

Resumiendo, la probabilidad de que la vida emerja a partir de la materia inerte puede situarse en un espectro que varía desde lo infinitesimal (la posición de Monod) a lo casi inevitable (la posición de De Duve), o en cualquier posición intermedia. Es frustrante constatar que una cuestión tan básica y crucial siga siendo imponderable. ¿Podemos avanzar en algún sentido? Desde luego que sí. De hecho, existe una forma obvia y directa de confirmar el imperativo cósmico: descubrir un segundo ejemplo de vida.

En busca de una segunda génesis en Marte

Todo el mundo está de acuerdo en que Marte ofrece en la actualidad las mayores esperanzas de hallar vida fuera de la Tierra.^[2.23] En 1977, la NASA envió a Marte dos naves espaciales llamadas *Viking* con el propósito expreso de buscar vida microbiana en el polvo de la superficie. Pocas personas se percatan de que la misión *Viking* sigue siendo la única misión completada por cualquier agencia espacial que se ha dedicado a la búsqueda de vida extraterrestre. *La única*. Los medios de comunicación tienden a presentar toda la exploración de Marte como parte de la búsqueda de vida, pero eso es una información falsa y maliciosa. Es cierto que una parte de la exploración de Marte (por ejemplo, la búsqueda de agua) tiene una relevancia indirecta sobre la cuestión de la vida, pero durante los últimos treinta años los experimentos explícitamente biológicos se han eliminado de manera sistemática de las misiones de la NASA. La Agencia Espacial Europea se muestra igualmente poco entusiasmada con la búsqueda de vida en Marte. Su misión *Mars Express*, lanzada en 2003, incluyó sólo *in extremis* el diminuto módulo británico *Beagle 2*. Construido con un presupuesto irrisorio, y probado poco y mal a causa de las prisas, el *Beagle 2* fue diseñado para olfatear la vida en la superficie de Marte. Por desgracia, desapareció sin dejar rastro. Todo lo que tenemos en la actualidad siguen siendo los resultados obtenidos por la *Viking*.

Las dos naves de la misión *Viking* estaban equipadas con un brazo robotizado armado con una pala para recoger muestras del fino polvo marciano y llevarlas hasta unos pequeños laboratorios a bordo de la nave donde se llevaban a cabo cuatro experimentos para la detección de vida (véase la lámina 4). Los experimentos se diseñaron para ser lo más generales posible dentro del marco de la vida basada en el carbono, pues no había razón para suponer que la vida en Marte y en la Tierra fueran iguales. Un instrumento con el farragoso nombre de cromatógrafo de gases y espectrómetro de masas, estaba diseñado para detectar moléculas orgánicas, por ejemplo el detrito descompuesto de células en otro tiempo vivas. Otro de los experimentos buscaba gases específicos emitidos o absorbidos por cualquier organismo en presencia de un medio nutritivo. Un tercer experimento buscaba indicios de la fotosíntesis. El último experimento, diseñado para detectar la captación de carbono, se basaba en la adición de un caldo rico en nutrientes al polvo de Marte para ver si algo lo metabolizaba. Una señal positiva de que el caldo estaba siendo consumido por microbios sería la emisión de un gas de carbono, como el dióxido de

carbono o el metano. A fin de monitorear la producción de gas, los átomos de carbono utilizados para confeccionar el caldo incluían un isótopo radiactivo, ^{14}C , que servía de marcador. Por esta razón, el procedimiento recibió el nombre de experimento de liberación de marcador, o experimento LR (del inglés *labelled release*).



LÁMINA 4. Nave espacial *Viking*. Se puede observar el brazo robotizado que se utilizó para recoger muestras para análisis biológicos.

La misión Viking fue un éxito rotundo, y se mantiene como un inmenso tributo a la NASA. Ambas naves descendieron hasta la superficie sin problemas en dos lugares distintos y muy alejados. Los brazos robotizados se desplegaron según lo previsto, las cámaras funcionaron y los experimentos a bordo de las naves se iniciaron casi sin errores, y todo ello con tecnología de la década de 1960. Científicos y el público en general esperaban los resultados con ansiedad. Recuerdo que estaba de vacaciones en la antigua Yugoslavia cuando la nave descendió y vi las portadas a página completa en inglés en los quioscos de Dubrovnik. Tras siglos de especulaciones sobre la vida en Marte, había llegado el momento de someter la idea a pruebas científicas.

Por desgracia, los datos enviados por las naves conformaron una imagen confusa. El espectrómetro de masas no halló trazas de materia orgánica, lo cual era extraño, pues aunque no haya vida en el suelo marciano, los cometas habrían traído del espacio pequeñas cantidades de porquería orgánica que deberían haber aparecido en los análisis. Otros dos experimentos también dieron resultados ambiguos. En cambio, el experimento LR dio un resultado fuertemente positivo. El caldo era consumido vorazmente y se detectó, como se esperaba, dióxido de carbono radiactivo, y ello en las dos naves. Cuando la mezcla se calentaba hasta $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, la fuerte reacción cesaba, como debía ocurrir si estuviera causada por microbios que el calor habría matado. A primera vista, se diría que el experimento LR había hallado vida. Pero no fue así como lo interpretó la NASA. A la vista de los resultados cuestionables de los otros tres experimentos, la conclusión general fue «no se detecta vida en Marte». Sigue siendo la posición oficial aun en la actualidad, y así se manifiesta claramente en la placa situada frente a la réplica de la *Viking* en el Museo del Aire y el Espacio de Washington, D.C. La mayoría de los científicos atribuye los resultados positivos del

LR a suelos altamente reactivos creados por las duras condiciones de la superficie de Marte, y especialmente al efecto de la radiación ultravioleta.

El diseñador del experimento LR, Gilbert Levin, discute la conclusión de la NASA. Sigue sosteniendo que ha hallado vida en Marte. En la actualidad, Gil es uno de mis colegas en el Beyond Center de la Universidad Estatal de Arizona, donde tiene una plaza de catedrático adjunto. Ya en la década de 1970 había anticipado la posibilidad de obtener un resultado ambiguo en el experimento LR, pero tenía un plan para evitarlo. Prácticamente todas las moléculas orgánicas poseen una lateralidad bien definida. Por ejemplo, el ADN es una espiral que gira a la derecha; visto en un espejo, su lateralidad se invierte. El término técnico para la lateralidad es «quiralidad», y la mayoría de los científicos la consideran una característica universal de la vida. La vida conocida usa casi siempre azúcares dextrógiros y aminoácidos levógiros. Las leyes de la química son, sin embargo, simétricas respecto a la quiralidad: no favorecen a una en contra de la otra. Así que una buena manera de distinguir entre la actividad biológica y la química simple consiste en mirar si hay discriminación quiral, es decir, una reacción que prefiera una forma quiral respecto a la otra. Gil quería ejecutar el experimento LR con dos caldos, uno con aminoácidos levógiros y azúcares dextrógiros, y el otro con sus formas especulares. Si el suelo de Marte hubiera reaccionado de igual modo con los dos, la explicación más probable hubiera sido una simple reacción química, que es lo que la mayoría de los científicos respalda en la actualidad. Pero si la biología hubiera sido la responsable, se habría observado una marcada diferencia en la respuesta a las dos formas del caldo.^[2.24] Lamentablemente, esta mejora fue eliminada por razones de coste. En consecuencia, los experimentos de la misión Viking siguen siendo un exasperante misterio.

A pesar de la conclusión final de la misión Viking, «no se detecta vida», durante los últimos años muchos científicos se han ido acercando a la idea de que al final podría haber vida en Marte. O, al menos, que podría haber habido vida hace miles de millones de años. Este cambio de actitud se debe sobre todo a la acumulación de pruebas que indican que en otro tiempo Marte tuvo agua líquida con una abundancia razonable. Las fotografías muestran antiguos valles fluviales y lechos de lagos, y los experimentos realizados *in situ* confirman que sobre las rocas había corrido el agua. En la actualidad el agua está confinada en el hielo polar y el permafrost, pero todavía pueden producirse episodios ocasionales de calentamiento, por ejemplo a consecuencia de cambios climáticos o impactos de cometas, que permitan la existencia de agua líquida en la superficie durante breves períodos. También debe haber agua a gran profundidad bajo el suelo, donde el calor interno del planeta mantiene temperaturas por encima de la congelación. Marte también tiene volcanes que pueden provocar un calentamiento local, y existen indicios incluso de sistemas hidrotermales, que aparecen allí donde puntos calientes geotérmicos provocan el

reciclado de agua sostenido durante largos períodos de tiempo. En la Tierra, los antiguos sistemas hidrotermales se asocian a las trazas más antiguas de la vida (en las colinas de Pilbara, por ejemplo). De hecho, muchos astrobiólogos creen que la vida terrestre se originó en uno de estos ambientes. Como ya he mencionado, todos los indicios sugieren que, hace tres o cuatro mil millones de años, Marte era bastante más cálido y rico en agua, presumiblemente a consecuencia de una atmósfera más gruesa que habría producido un intenso efecto invernadero. Por aquel entonces, el medio hubiera sido adecuado para la vida microbiana; de hecho, algunas de las bacterias terrestres más resistentes probablemente podrían sobrevivir en las actuales condiciones de Marte.

Si Marte fue, o en un sentido limitado todavía es, «parecido a la Tierra», deberíamos poder hallar en él indicio de vida, si es que existe (o existió). La confirmación podría provenir de una sonda parecida a la de la misión Viking, pero más sofisticada, de una misión diseñada para traer a la Tierra muestras de rocas o de una expedición tripulada. Mientras que la vida en la inhóspita superficie de Marte parece muy improbable, es posible que vivan microbios bajo la superficie, en acuíferos a cientos de metros de profundidad. Podrían revelar su presencia a través de productos de su metabolismo en forma de gases, por ejemplo metano exudado hasta la superficie. Durante los próximos treinta años, es posible que los científicos encuentren indicios claros de que existieron microbios en Marte en algún momento de la historia de este planeta.

Mucha gente concluye erróneamente que el descubrimiento de vida en Marte implicaría que el universo está repleto de vida. Pero las cosas no son tan simples. Como ya he explicado al principio de este capítulo, Marte y la Tierra no están aislados en cuarentena. Intercambian materiales de manera regular en forma de rocas expulsadas por impactos, y aunque el tráfico de Marte a la Tierra supera con mucho el que va en sentido inverso, a lo largo de la historia astronómica deben haber acabado en Marte grandes cantidades de materiales terrestres, en buena parte infestados de microbios. La mayor parte de los pasajeros habrán perecido durante el viaje, pero no todos. Si hace mucho tiempo Marte se parecía a la Tierra mucho más que en la actualidad, al menos algunos de esos polizones terrestres podrían haber prosperado en su nuevo hogar. Y a la inversa, es del todo posible que la vida terrestre no se haya originado en la Tierra, sino que provenga de Marte. En cualquier caso, el simple hecho de hallar vida en Marte no bastará por sí solo para establecer el imperativo cósmico. Sería necesario demostrar que la vida comenzó *de cero* tanto en Marte como en la Tierra, es decir, que se originó en los dos lugares de manera independiente. La continua mezcla de la vida de Marte y la Tierra mediante el intercambio de rocas como mínimo complicaría enormemente el caso, haciendo que sea difícil desenmarañar el cuándo y el dónde del origen de la vida, y si hubo una sola

génesis o dos.

¿Y la vida más allá del sistema solar? Existe sólo una probabilidad infinitesimal de que una roca expulsada por un impacto de la superficie de nuestro planeta llegue en algún momento a otro planeta parecido a la Tierra, en otro sistema estelar, y aunque así fuera, sería improbable que algún microbio sobreviviera durante el inmenso período de tiempo necesario para llegar hasta allí. Así que el problema de la contaminación es irrelevante, y la detección de signos de vida en un planeta extrasolar sería un indicio firme de una segunda génesis, independiente de la nuestra. Los astrónomos tienen planes ambiciosos para construir sistemas ópticos en el espacio que podrían detectar la presencia de oxígeno, tal vez incluso de fotosíntesis, en planetas extrasolares, pero las dificultades técnicas que esto conlleva son formidables y es poco probable que se resuelvan en el futuro cercano.

Si tenemos que limitarnos a los satélites y las sondas espaciales para decidir si la vida es o no es un hecho fortuito, mejor que nos preparemos para una espera muy larga. Por suerte, existe otra manera de poner a prueba el imperativo cósmico, una manera que elude el problema de las costosas misiones espaciales y que hasta hace poco hemos pasado por alto. Tal vez podamos dirimir el problema sin tener que dejar la Tierra. Ningún planeta es más parecido a la Tierra que la propia Tierra, así que si la vida realmente se origina con facilidad en las condiciones de nuestro planeta, como exige el imperativo cósmico, debería haberse originado muchas veces aquí mismo, en nuestro hogar.

Quizá lo hizo.

UNA BIOSFERA EN LA SOMBRA

Una caja sin bisagras, llave o tapa, pero en su interior esconde un dorado tesoro.

J. R. R. Tolkien

Buscando una segunda génesis en la Tierra

Si la vida se hubiera originado más de una vez en la Tierra, estaríamos prácticamente seguros de que es abundante en el universo. Salvo que haya en nuestro planeta algo *muy* peculiar, resulta inconcebible que la vida se hubiera originado dos veces en un planeta parecido a la Tierra y prácticamente nunca en el resto. Hasta hace poco, los biólogos suponían, sin haber pensado a fondo en ello, que toda la vida de la Tierra es *la misma vida*, que todo organismo que haya vivido en algún momento descendía de una génesis común. Pero ¿cómo sabemos que es así? ¿Es posible que en nuestro planeta convivan dos o más formas distintas de vida? ¿Alguien se lo ha mirado en serio?

He aquí un escenario plausible de cómo podría haberse originado la vida repetidas veces. Como ya he mencionado en el capítulo 2, durante unos 700 millones de años después de su formación, la Tierra estuvo sometida a un implacable aluvión de asteroides y cometas, el más grande de los cuales bien podría haber esterilizado el planeta entero. Sin embargo, entre los grandes impactos, las condiciones debieron ser menos hostiles. Estos períodos de tranquilidad pueden haber durado muchos millones de años. Según la explicación del origen de la vida acorde con el «imperativo cósmico», que es lo que pretendemos probar o refutar, los períodos de calma deben haber durado lo bastante para permitir el origen de la vida. Durante algún tiempo, los microbios primitivos se habrían multiplicado y dispersado, sólo para ser aniquilados por el siguiente gran impacto. Entonces habría otro período de calma, y la vida habría comenzado de nuevo para, una vez más, ser aniquilada. La historia temprana de la vida en la Tierra podría haber sido una larga serie de «experimentos» biológicos que comienzan y finalizan en sucesión, con muchos eventos de génesis que producirían muchas variedades de vida, una idea que propusieron originalmente dos geólogos de Caltech, Kevin Maher y David Stevenson.^[3.1] Su teoría era bastante plausible, pero en su momento pasaron por alto un importante corolario. Cada uno de los impactos esterilizadores debería haber eyectado una enorme cantidad de material, que había quedado en órbita alrededor del Sol, llevando consigo cualesquiera microorganismos que en él habitaran. Una parte de las rocas eyectadas habrían acabado volviendo a la Tierra una vez desaparecidos los efectos del impacto. Los microbios en estado de latencia podrían haber resistido el viaje por el espacio durante millones de años al abrigo de una roca, de modo que al menos unos pocos habrían podido regresar vivos y listos para volver a la vida. Sin embargo, mientras la Vida I estaba en suspensión en

el espacio, en el período de calma se habría originado y establecido en la Tierra la Vida II. Habría entonces dos formas de vida al mismo tiempo en la Tierra. Esta secuencia de acontecimientos podría haber sucedido una y otra vez, de manera que en el momento en que cesó el bombardeo intenso, podría haber habido en la Tierra muchas formas distintas de vida terrestre descendiente de múltiples orígenes independientes.^[3.2]

El escenario precedente de múltiples orígenes no es de ningún modo el único. La vida podría haber comenzado de manera independiente en muchos lugares geográficos distintos, quedando tal vez atrapada en rincones aislados durante largos períodos de tiempo. Algunos organismos que habitan a gran profundidad, escondidos en sus refugios subterráneos, podrían haberse salvado de los efectos letales del calor producido por el bombardeo, y podrían haber salido a la superficie cuando ya se había originado otra forma de vida. O la vida podría haber comenzado tanto en la Tierra como en Marte, y haberse transferido entre estos planetas a través de los materiales eyectados por los impactos, mezclándose con la vida indígena al llegar al nuevo planeta. Para el propósito de este capítulo, poco importan los detalles. Lo que realmente necesitamos saber para poner a prueba el imperativo cósmico es si la vida comenzó en más de una ocasión. Si así fuera, ¿qué tipo de indicios deberíamos buscar?

La confirmación directa podría provenir del descubrimiento de descendientes vivos de otros eventos de génesis, que compartieran el planeta con nosotros conformando una suerte de biosfera en la sombra.^[3.3] Una buena manera de describir esta situación es en los términos del árbol de la vida, que ilustra cómo con el tiempo la vida fue produciendo más y más ramas, diversificándose por medio de una sucesiva especiación (véase la figura 2). La vida actual comprende millones de especies distintas, pero si seguimos la evolución hacia el pasado durante miles de millones de años, todas convergen en el «tronco del árbol». Así, los humanos y los chimpancés encuentran un antepasado común que vivía en África entre hace 7 y 5 millones de años. Más atrás en el tiempo convergen todos los mamíferos, luego los vertebrados, y así sucesivamente hasta los microorganismos primordiales hace tres o cuatro mil millones de años. Richard Dawkins ha descrito este viaje biológico atrás en el tiempo en su interesante libro *El cuento del antepasado*.^[3.4] La cuestión que planteo es, sencillamente, si toda la vida de la Tierra pertenece a este *único* árbol, o si existe en realidad más de un árbol. ¿Tal vez incluso un bosque?

Cuando comencé a darle vueltas a estas ideas hace unos cuantos años, me sorprendió descubrir que nadie había pensado realmente a fondo sobre los indicios de múltiples acontecimientos de génesis.^[3.5] Los astrobiólogos han estado muy ocupados tratando de averiguar la manera de detectar una forma de vida distinta en Marte, pero a muy pocos se les ha ocurrido buscar formas alternativas de vida aquí en

la Tierra. No obstante, encontré un número suficiente de científicos de mentalidad abierta, que convoqué a un taller celebrado en diciembre de 2006 en la Universidad de Arizona con el objetivo de generar unas cuantas ideas. El resultado fue un artículo de investigación pionero que establece una estrategia para «buscar nuevas formas de vida», como reza la misión de *Star Trek*, pero no a años luz en la galaxia, sino en la propia Tierra. [3.6]

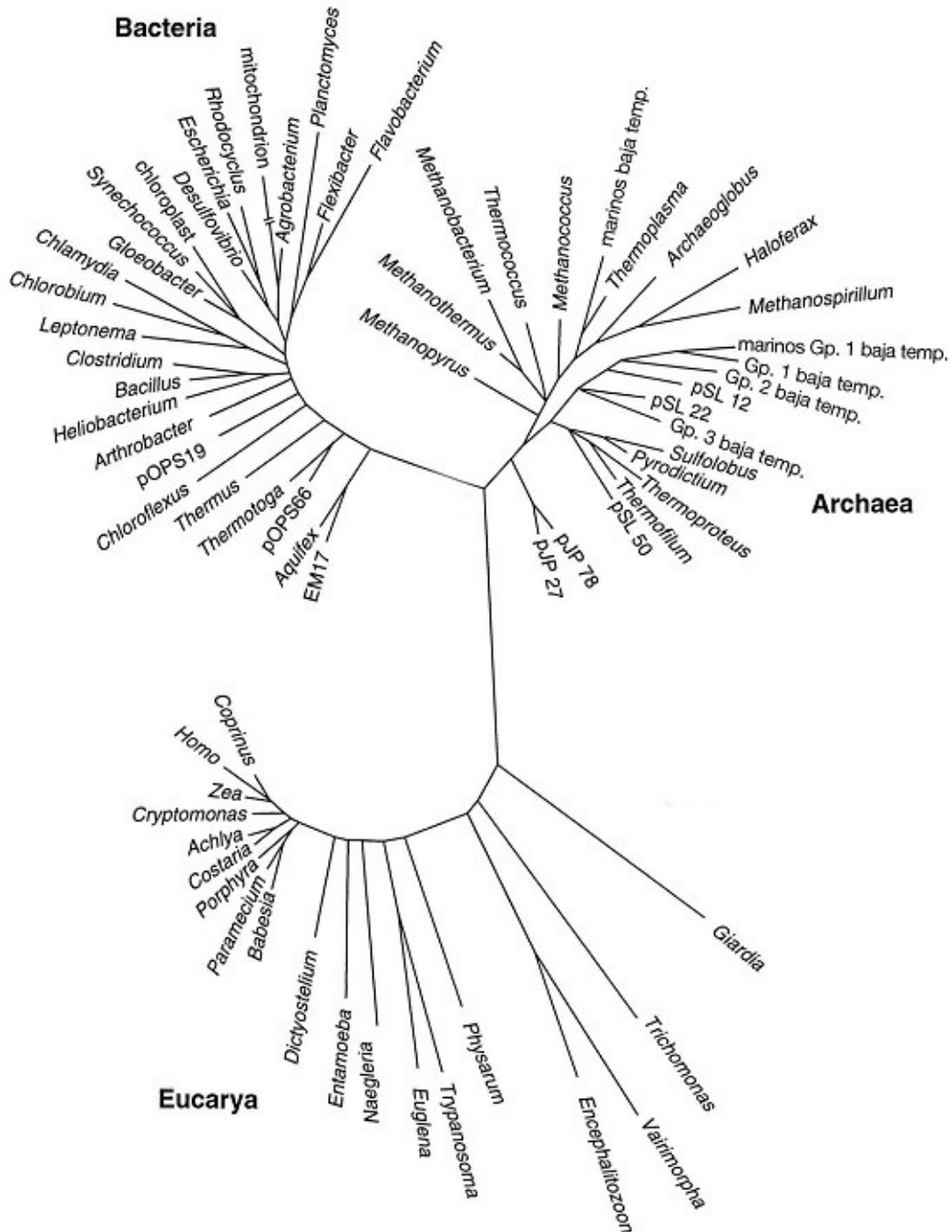


FIGURA 2. El árbol de la vida muestra el parentesco genético entre todas las especies. La mayoría (incluidas todas las bacterias y todas las arqueas) son microorganismos. Nuestra especie (en el género *Homo*) aparece cerca de la cola del dominio de los eucariotas.

Antes de ocuparnos de los detalles, permítaseme que resuma por qué los biólogos

creen que toda la vida *conocida* comparte un origen común. Las principales pruebas provienen de la bioquímica y la biología molecular. Los robles, las ballenas, las setas y las bacterias tienen una apariencia muy distinta, pero su funcionamiento interno se organiza en torno al mismo sistema. Todos utilizan ADN y ARN para almacenar información, y proteínas que sirven de enzimas o como elementos estructurales. La energía se almacena y libera mediante unas moléculas llamadas ATP. En especies claramente distintas se encuentran muchos genes idénticos, o al menos muy parecidos; por ejemplo, los humanos comparten el 63 por ciento de sus genes con los ratones y el 38 por ciento con las levaduras. Pero el indicio más decisivo se encuentra en el código genético, el sistema matemático que traduce los datos contenidos en el ADN en instrucciones para la síntesis de proteínas. El ADN almacena información en forma de secuencias de unidades moleculares llamadas nucleótidos. Hay cuatro nucleótidos distintos que se designan mediante las letras G, C, A y T. Lo que hace que usted sea *usted* y su perro su perro depende completamente de la secuencia de esas letras. (Se necesitan millones de letras para especificar una persona o un perro). Las letras sirven para escribir, entre otras cosas, las instrucciones para que unos dispositivos moleculares llamados ribosomas fabriquen las proteínas ensamblando aminoácidos de acuerdo con una secuencia específica. Para codificar esta secuencia, la vida conocida agrupa los nucleótidos del ADN en tripletes (por ejemplo, AGT). Existen sesenta y cuatro tripletes posibles para especificar los veintiún tipos distintos de aminoácidos necesarios, así que tiene que producirse una elección de qué tripletes codifican qué aminoácidos. El número de elecciones posibles es enorme, porque el número de permutaciones es ingente; pese a ello, todas las especies conocidas utilizan el mismo código.

El hecho de que unas características tan complejas y específicas como los ribosomas, el ATP y el código de tripletes sean universales sería muy difícil de explicar si no fuera porque todas las especies descienden de un antepasado común, unas células antiquísimas que ya habrían incorporado estas características distintivas. Mediante la secuenciación de genes se puede construir un árbol filogenético común que muestre la ascendencia compartida. Con el tiempo, las especies tienden a derivar genéticamente, así que el número de genes comunes va disminuyendo. Esta divergencia lenta y acumulativa proporciona una medida de cuánto tiempo hace que dos especies determinadas se diferenciaron. El árbol genético tiene su reflejo en el registro fósil, que también exhibe la lenta y segura acumulación de cambios y la especiación.

Nadie duda de que los organismos pluricelulares familiares pertenezcan al mismo árbol. Los animales del zoo, las plantas del jardín, las aves del cielo y los peces del mar representan un único tipo de vida. Pero esto es sólo una parte de la historia: la gran mayoría de las especies son microorganismos. Como Stephen Jay Gould expresó

de una forma tan gráfica: «Nuestro planeta ha permanecido siempre en la “era de las bacterias”, desde que los primeros fósiles (bacterias, por supuesto) quedaron sepultados en rocas hace más de 3.000 millones de años. De acuerdo con cualquier criterio posible, razonable o justo, las bacterias son, y han sido siempre, las formas de vida dominantes en la Tierra».^[3.7] Vistos al microscopio, muchos microbios parecen casi idénticos, simples bolas o palitos, a veces con alguna que otra protuberancia. Con verlos no puede decirse lo que ocurre en su interior. Si se examina las entrañas de un microbio, lo más probable es que se encuentre lo mismo que en cualquier ser humano: ADN, proteínas y ribosomas. Al menos, ésta ha sido la experiencia hasta el momento. Pero los microbiólogos apenas han rascado la superficie del reino microbiano. Nuestro mundo está literalmente a rebosar de estos diminutos organismos. Un solo centímetro cúbico de suelo puede contener millones de especies distintas en un total de miles de millones de microorganismos, la mayoría de las cuales no han sido clasificadas, y mucho menos analizadas. Nadie sabe con seguridad lo que son; por lo que sabemos, algunos podrían no ser vida tal como la conocemos.

Para investigar a fondo una especie de microbio, primero se necesita cultivarla en el laboratorio para poder analizar su bioquímica, por ejemplo secuenciando su genoma para situarla en el árbol. Esta técnica, aunque sin duda importante, adolece de algunos problemas. A muchos microbios no les gusta que los saquen de su hábitat natural y no resulta nada fácil cultivarlos. Algunos se resisten a la secuenciación de sus genes. Como las técnicas químicas utilizadas para analizar microorganismos están diseñadas y dirigidas a estudiar la vida tal como la conocemos, no funcionarían con un tipo distinto de biología. De haber una forma distinta de vida microbiana en la Tierra, sería muy fácil pasarla por alto simplemente porque no respondería a las sondas que utilizan los bioquímicos. En una muestra de laboratorio, es muy posible que se echara a la basura. Si uno se dispone a estudiar la vida tal como la conocemos, lo que encuentra es, ineludiblemente, la vida tal como la conocemos. Así que la cuestión de si algunos microbios descienden en realidad de una génesis distinta sigue siendo una pregunta abierta.

Extraños extremófilos

¿Cómo podemos identificar la vida que *no* es tal como la conocemos? Dada la magnitud del papel que desempeña el azar en la evolución, es muy improbable que organismos con orígenes distintos compartan la misma bioquímica. Los astrobiólogos llaman «vida estándar» a los organismos conocidos, y «vida extraña» a las hipotéticas formas alternativas. (La vida extraña puede ser vida extraterrestre en el sentido de no ser «uno de los nuestros», pero también en el sentido de tener un origen extraterrestre, por ejemplo marciano. Como ya he señalado, esta distinción no es importante para nuestros propósitos).

Parte del problema de la búsqueda de vida extraña es que no sabemos exactamente qué buscamos. Una estrategia consiste en buscar en lugares extraños, abriendo bien los ojos ante cualquier cosa viva. Pero ¿hasta qué punto es extraño lo extraño? Durante las tres últimas décadas, los biólogos no han dejado de sorprenderse una y otra vez tras hallar vida que sobrevive o incluso prospera en ambientes que antes se consideraban letales. En la década de 1970, se descubrieron microorganismos que habitaban en fuentes termales como las del parque nacional de Yellowstone. Algunos de estos resistentes organismos pueden soportar temperaturas de 90 °C, y por razones obvias se los denomina termófilos. Sólo eso ya era todo un prodigio, pero nos esperaban más sorpresas. La exploración de las chimeneas volcánicas del fondo oceánico con el submarino *Alvin* reveló ecosistemas enteros en la más absoluta oscuridad, cerca de «humeros negros», chimeneas minerales del fondo del mar que escupen un fusco fluido a temperaturas de hasta 350 °C (véase la lámina 5). Los productores primarios en la base de la cadena trófica son microbios que se hacinan alrededor de la corriente abrasadora, y toleran temperaturas de hasta 120 °C, a veces más. Eso está muy por encima del punto de ebullición normal del agua (que, sin embargo, no hierve a causa de la elevada presión). Estos microbios termófilos extremos reciben el nombre de hipertermófilos. Sobreviven en la oscuridad porque no precisan la luz como fuente de energía. En su lugar, metabolizan y sintetizan su biomasa directamente a partir de los gases disueltos en el fluido que emana de la corteza de la Tierra.^[3.8]

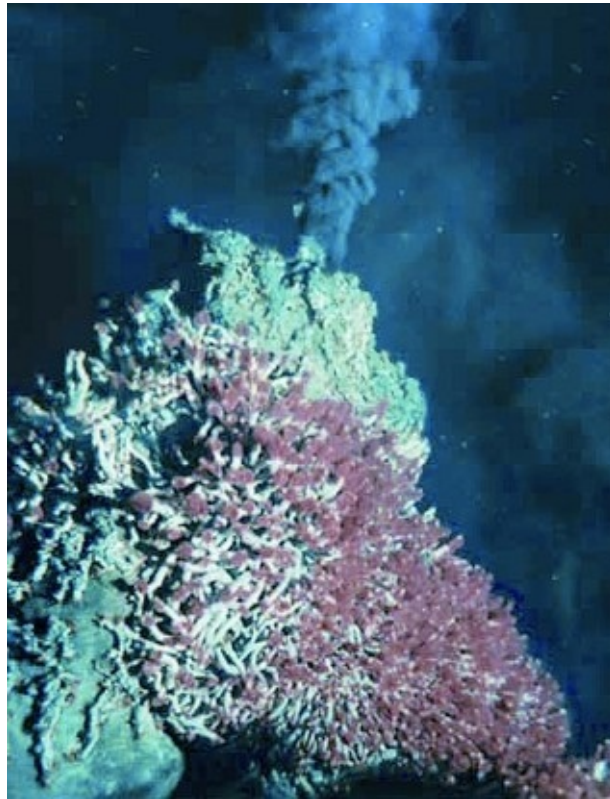


LÁMINA 5. Volcán submarino localizado en la dorsal Juan de Fuca, en el Pacífico noreste. El «humo negro» es una nube turbulenta de partículas de sulfuro de hierro.

Se han descubierto muchas otras especies de microbios que viven en distintas condiciones extremas. Por ejemplo, algunos organismos, que responden al enrevesado nombre de psicrófilos, pueden tolerar el frío extremo, tal vez hasta $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, antes de dejar de crecer. Otros pueden soportar ácidos lo bastante fuertes como para quemarnos la carne, y aun otros resisten condiciones alcalinas igual de extremas. El Mar Muerto ha resultado ser un nombre inadecuado, pues alberga varias especies de halófilos, los organismos que viven felizmente en medios con concentraciones muy altas de sales. Pero quizá los más notables sean los microorganismos que resisten a la radiactividad, como *Deinococcus radiodurans*, que puede sobrevivir a dosis de radiación tan altas que se los ha encontrado viviendo en las piscinas de residuos de reactores nucleares.

Colectivamente, todos estos microbios extravagantes reciben la denominación de «extremófilos». Pese a su naturaleza exótica, hasta la fecha todos los extremófilos que se han analizado han resultado ser vida estándar: pertenecen al mismo árbol de la vida que usted y yo. Su existencia prueba que el abanico de condiciones en las que puede sobrevivir la vida estándar es mucho más amplio de lo que antes se creía. No obstante, hay límites. Toda la vida estándar requiere agua líquida, por ejemplo. Sólo eso basta para acotar los intervalos de temperatura y presión.

Si existe una biosfera en la sombra, podría estar formada por extraños «hiperextremófilos» que habiten en ambientes fuera del alcance de las formas más duras de la vida estándar, y hasta ahora no los hemos podido detectar porque a nadie

se le ha ocurrido buscar formas de vida en condiciones tan extremas. Un buen ejemplo es la temperatura. Los hipertermófilos estándar parecen tener un límite alrededor de 130 °C, y por una buena razón. El intenso calor altera moléculas vitales, e incluso con toda una batería de mecanismos de reparación y protección, el ADN y las proteínas comienzan a desnaturalizarse y desintegrarse cuando se someten a temperaturas superiores a 120 °C. Supongamos que no encontramos nada que viva entre 130 °C y 170 °C en un sistema de chimeneas volcánicas del océano profundo, pero luego descubrimos microbios que viven y prosperan allí mismo entre 170 °C y 200 °C. La discontinuidad en el intervalo de temperatura sería una fuerte indicación de que nos enfrentamos a vida extraña, y no a vida estándar que simplemente ha llevado un poco más lejos el intervalo de temperaturas habitables.

Otro de los límites es la profundidad. En la década de 1980 el astrofísico heterodoxo Thomas Gold de la Universidad de Cornell supervisó un proyecto experimental de prospección de petróleo en Suecia, y provocó bastante alboroto cuando afirmó haber descubierto vida en el fondo de una perforación de varios kilómetros de profundidad.^[3.9] Muchos no lo creyeron. Sin embargo, al cabo de pocos años otros investigadores comenzaron a encontrar microorganismos que vivían en los poros de las rocas a gran profundidad bajo el suelo. Pero eso sólo fue el principio. En testigos de rocas extraídas de perforaciones en el lecho oceánico se hallaron millones de microbios por centímetro cúbico, y a tanta profundidad como pudieron alcanzar las perforaciones (alrededor de un kilómetro). Enseguida quedó claro que hay mucho espacio *dentro* de nuestro planeta que sirve de hábitat microbiano.^[3.10] Nadie sabe cuán extensa podría ser esta biosfera profunda y caliente, o qué profundidad alcanza; Gold conjetura que hay tanta biomasa bajo la superficie como sobre ella. Sea como fuere, no es difícil imaginar muchos ecosistemas subterráneos aislados, o casi aislados, cada uno de ellos autosuficiente, y en muy gran medida separado de nuestra habitual biosfera.

De hecho, se han descubierto tres ecosistemas que están casi del todo aislados del resto de la biosfera.^[3.11] Enterradas a gran profundidad bajo el suelo, estas extraordinarias comunidades microbianas son ejemplos de la vida alimentada por el hidrógeno. El hidrógeno se produce por disociación del agua cuando ésta entra en contacto con rocas calientes o, en uno de los casos, por radiactividad. Los organismos obtienen la energía y sintetizan biomasa combinando el hidrógeno con el dióxido de carbono disuelto, liberando metano como producto de desecho.^[3.12] Muchos son termófilos o hipertermófilos, pues la corteza terrestre se va haciendo cada vez más caliente al aumentar la profundidad. Sin embargo, a pesar de su espléndido aislamiento, todos los ocupantes de estos tres ecosistemas subterráneos han resultado ser vida estándar. Pero es evidente que hasta el momento los científicos sólo han llegado a atisbar la punta de iceberg. Una cuestión intrigante es si alguna de estas

bolsas aisladas está habitada por vida extraña en lugar de vida estándar. Es perfectamente posible que un futuro proyecto de perforación, en tierra firme o en el mar, dé con una bolsa de vida extraña. Aun en el caso de que no tengamos la suerte de perforar una de esas bolsas, es posible que podamos obtener pruebas indirectas de formas ocultas de vida extraña. Por ejemplo, la vida estándar es presa de virus, en la mayoría de los casos sin efectos perjudiciales.^[3.13] Los virus invaden a las plantas, los animales y los microbios. Como son tan diminutos, alcanzan una mayor variedad de ambientes que las células microbianas. Y están en todos lados: en el suelo, el aire y el agua. El océano es un «caldo de virus», pues contiene hasta 10.000 millones de partículas virales por litro de agua. Si los microorganismos extraños están confinados bajo la superficie de la Tierra (o, para el caso, en cualquier lugar de la Tierra), es probable que los «virus extraños», adaptados a interactuar con ellos, se dispersen por toda la biosfera. Podrían encontrarse, tal vez sólo a niveles muy bajos, entre los virus normales del agua de mar o del aire. Por lo que yo sé, a nadie se le ha ocurrido buscarlos.

Hay muchos otros lugares que podrían servir de hogar para extremófilos extraños aislados, lugares tan inhóspitos que caen fuera de la zona de habitación de la vida estándar. El núcleo del desierto de Atacama es uno de esos lugares (véase la lámina 6). Es tan seco y oxidante que las bacterias no consiguen realizar su metabolismo. La NASA tiene allí una estación de campo, pero hasta el momento no se ha hallado ningún indicio de una química del carbono que pueda atribuirse a vida extraña. Otros lugares posibles son las capas altas de la atmósfera, las mesetas secas y frías y las cimas montañosas (donde la radiación UV constituye un problema para la vida estándar), los depósitos de hielo a temperaturas por debajo de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los lagos muy contaminados con metales tóxicos para la vida conocida. La manera técnica de resumir todo esto es imaginando un «espacio de parámetros» multidimensional de variables como la temperatura, la presión, la acidez (pH), la salinidad, la radiación, etc. La vida tal como la conocemos está confinada a una región finita de este espacio de parámetros, aunque los descubrimientos de los últimos años han empujado sorprendentemente lejos los límites de la «región de habitabilidad». Aun así, siempre habrá un límite exterior. Una biosfera en la sombra que esté ecológicamente separada de la biosfera habitual debería existir en una región inconexa del espacio de parámetros. No tenemos por qué confinar nuestra búsqueda de microbios extraños a un único parámetro como la temperatura; es posible que algunas combinaciones, por ejemplo temperatura y acidez, sean más relevantes.



LÁMINA 6. El núcleo seco del desierto de Atacama, donde ni siquiera los microorganismos más resistentes consiguen vivir. Esta región podría albergar vida extraña.

El problema es cómo detectar los microbios extraños si se encuentran en muy baja abundancia. Una idea con la que estamos trabajando en el Beyond Center es realizar una variación del experimento de liberación de marcador (LR) que Gil Levin ideó para la misión Viking a Marte. A fin de cuentas, este experimento se diseñó específicamente para encontrar organismos de un tipo desconocido, usando una definición muy general de la vida basada únicamente en la capacidad de impulsar el ciclo de carbono en su sistema, algo que esperamos que también haga la biosfera en la sombra. El secreto del experimento LR está en su extraordinaria sensibilidad. Como ya he explicado, se trata de proporcionar un caldo nutritivo marcado con carbono radiactivo (^{14}C). Cualquier tipo de transformación del carbono debida a un metabolismo se detectaría analizando el ^{14}C en el dióxido de carbono emitido. Como incluso los niveles más bajos de radiación son fáciles de medir, el experimento LR puede registrar cantidad de trazas de actividad. Si hay organismos extraños en las cimas más altas, en el centro del desierto de Atacama o dondequiera que estén (suponiendo, claro está, que no se atraganten con el caldo preparado con tanto esmero), el experimento de Gil debería dar con ellos. El primer paso será determinar si se trata de extremófilos aún más extremos pertenecientes al árbol de la vida estándar o si, por el contrario, son descendientes de otra génesis. [3.14]

Alienígenas entre nosotros

En la sección precedente he examinado la idea de que la vida extraña podría estar restringida a bolsas aisladas fuera del alcance de la vida estándar, lo que la haría fácil de detectar. Sería mucho más difícil si la vida extraña y la vida estándar se hallaran mezcladas. Un tema constante en la ciencia ficción es que los alienígenas viven clandestinamente entre nosotros, indistinguibles de los humanos. Uno de los clásicos del género es *Quatermass 2*, una serie televisiva de terror de la BBC de la década de 1950, en la que unos individuos tienen la mala suerte de ser «ocupados» por los alienígenas. En otros, como en la serie de televisión americana de la década de 1960, *The Invaders*, que se prolongó durante muchas temporadas, los alienígenas disfrazados de humanos se infiltran en nuestra sociedad. La popularidad de este género tiene raíces en parte económicas: es más barato usar actores humanos con poco o nada de maquillaje que hagan el papel de alienígenas. Durante décadas también sirvió para alimentar el temor a la guerra fría y las neuróticas ideas de muchos occidentales de que «los rojos están por todas partes». Los avances en efectos especiales, diseño de disfraces e imágenes generadas por ordenador acabaron por cambiar la forma en que se nos presentaba a los extraterrestres, y así, para cuando se estrenaron películas como *La guerra de las galaxias* y *Alien*, la anatomía de los alienígenas se había tornado mucho más variada y mucho menos humanoide.

Pero basta de ciencia ficción. Ahora parece que una variante liliputiense del tema de la infiltración de los alienígenas podría resultar ser cierta. Si los microbios extraños se parecen a las bacterias estándar y habitan los mismos ambientes que nosotros, tal vez ya los hayamos detectado, pero al carecer de un uniforme visible que proclame su pertenencia a un club alternativo, no habrían suscitado mayor comentario: habrán permanecido ocultos en la muchedumbre microbiana.^[3.15] Podría haber organismos alienígenas literalmente delante de nuestras narices (¡incluso dentro de nuestras narices!), a los que todavía no conocemos como tales. El problema espinoso es cómo identificarlos.

Una forma de hacerlo es con la bioquímica. Dos microbios pueden parecer semejantes pero desarrollar una química muy distinta en su interior. Si pudiéramos saber por adelantado cómo puede ser una bioquímica alternativa, podríamos analizar muestras de microorganismos en busca de sus señas. El truco es una buena conjetura. Como no sabemos exactamente qué es lo que buscamos, eso supone un reto considerable. Pero podemos hacer conjeturas basadas en el conocimiento. Un

ejemplo obvio es la quiralidad, la selección de azúcares levógiros y aminoácidos dextrógiros en lugar de sus imágenes especulares (véase la página 59). Si la vida hubiera de comenzar de nuevo, existe la posibilidad de que eligiera la quiralidad opuesta (figura 3). Esta vida «especular» podría asemejarse a la vida estándar en todo lo demás (por ejemplo, por usar los mismos ácidos nucleicos y proteínas); sin embargo, destacaría, aunque no visualmente, sino por su bioquímica. Lo que necesitamos es un filtro químico dirigido a la vida estándar al que no responda la vida extraña. Discutía este problema con mi esposa Pauline hace pocos años, cuando se le ocurrió la brillante idea de cómo hacerlo. Sin duda, sugirió, la vida especular apartaría su proverbial nariz de un medio de cultivo sabroso para la vida estándar, mientras que se atracaría con una «sopa especular», un medio en el que los azúcares y aminoácidos estándar estuvieran sustituidos por sus imágenes especulares. Para la vida estándar, ocurriría lo contrario. Así podríamos separar las churras de las merinas. Convencimos a Richard Hoover y Elena Pikuta para que realizaran un experimento piloto de sopa especular en el Marshall Spaceflight Center que tiene la NASA en Huntsville (Alabama). Los resultados fueron muy curiosos, Hoover y Pikuta descubrieron un nuevo extremófilo de un lago muy alcalino de California que consumía de buen grado la sopa especular. Lo llamaron *Aerovirgula multivorans* (que, más o menos, significa que come de todo).^[3.16] Lamentablemente, éste no era el microbio especular que nos hubiera gustado descubrir, sino un microbio estándar que se las había arreglado para adaptarse a consumir comida especular. Resulta que la vida estándar a veces utiliza moléculas especulares (por ejemplo, en las membranas celulares), y que algunos microbios estándar están cargados de enzimas que pueden romper moléculas con la quiralidad «incorrecta» y convertirlas en productos útiles. Según Hoover, *Aerovirgula multivorans* podía crecer digiriendo una versión especular del azúcar arabinosa, pero *no podía* crecer con la arabinosa estándar, lo cual es sorprendente. Así que la historia de la quiralidad es un poco enigmática y desde luego más compleja de lo que habíamos pensado. No obstante, el uso de la quiralidad como signo de la vida extraña sigue siendo una técnica obvia y fácil.

Otra pista podría estar en las piezas de construcción que podría utilizar la vida extraña. Como ya he mencionado, la vida estándar usa veintiún tipos de aminoácidos para sintetizar las proteínas, pero existen muchas otras variedades. En 1969 cayó cerca de Murchinson, en Australia, un inusual meteorito que pertenecía a la rara clase conocida como condritos carbonáceos (véase la lámina 7).



LÁMINA 7. Fragmento del meteorito Murchison, que contiene aminoácidos, el material de construcción de las proteínas.

El meteorito de Murchinson contiene abundante material orgánico (tanto que huele a petróleo), entre el que se incluyen muchos aminoácidos que la vida estándar no utiliza. Unas pocas personas se abalanzaron entonces sobre la conclusión de que el meteorito había estado habitado en otro tiempo por microbios alienígenas que se habían descompuesto, dejando los exóticos aminoácidos que contenían y que nosotros descubrimos entre sus restos. Pero esta conclusión es forzada; es más probable que estas moléculas orgánicas se hayan formado en algún lugar del espacio. Como ya he mencionado en el capítulo 2, no es difícil sintetizar aminoácidos en el laboratorio, así que cabe suponer que pueden formarse de muchas maneras naturales. La Tierra primitiva estaba cubierta de material carbonáceo proveniente de meteoritos y granos interplanetarios que caían como maná del cielo, proporcionando las materias primas de las que quizá emergiera la vida primera. Si esto es correcto, las células originales podrían haber escogido a su antojo en aquel cóctel orgánico. Por lo que sabemos, los veintidós aminoácidos escogidos por la vida conocida no constituyen un conjunto único; la elección podría haber sido otra, y quizá *haya sido* otra si la vida ha tenido muchos comienzos.

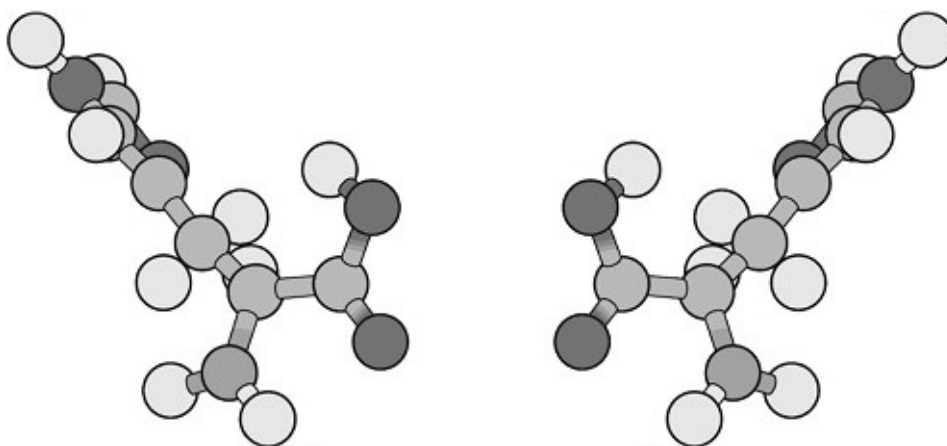


FIGURA 3. Vida estándar y vida especular. Si todas las moléculas que utiliza la vida estándar, como este aminoácido, se reemplazasen con sus imágenes especulares, el resultado sería un organismo que requeriría alimento «especular».

Steve Benner es un bioquímico y experto mundial en biología sintética. Sabe mucho sobre cómo hacer células que incorporen componentes «no naturales» que él mismo inserta.^[3.17] Un componente que rechaza la vida estándar, pero que Benner cree que es bueno para la vida sintética, es una clase de moléculas conocidas como 2-metilaminoácidos. Si encontrásemos organismos que utilizan estos aminoácidos, sería una fuerte indicación de que estamos ante algo nuevo y extraño. De hecho, no tendríamos que detectar los propios microbios: bastaría con hallar detritos orgánicos que contuviesen 2-metilaminoácidos, sobre todo si presentasen una quiralidad preferente. La sugerencia de Benner para los aminoácidos forma parte de una estrategia general: elaborar una lista de moléculas orgánicas que la vida conocida *no* sintetiza, que no son productos de la descomposición de la vida conocida, y que no se forman de manera natural por procesos no biológicos. Luego, sólo hay que salir a buscarlos. Hasta ahora nadie lo ha intentado: hasta el momento no se ha llevado a cabo una exploración sistemática de sustancias orgánicas extrañas en nuestro entorno.

Una cuestión relacionada con la de los aminoácidos es la del código genético, que, como ya he dicho, es universal para la vida estándar. Podemos imaginar un tipo alternativo de vida compuesto por ADN y el *mismo* conjunto de veintiún aminoácidos, pero que utilice un código genético distinto. Sería fácil pasar por alto organismos con esta bioquímica «casi normal», pero se delatarían tan pronto los estudiaran en detalle biólogos moleculares. Más probable aún es que, si la vida extraña se originó de cero con independencia de la vida estándar, utilice un conjunto *distinto* de aminoácidos, por lo que también habría de utilizar un código genético distinto. Podemos incluso imaginar vida en la que falten dos de los cuatro nucleótidos, G, C, A y T, o estén sustituidos por un nucleótido distinto, o que haya más nucleótidos (por ejemplo, seis en lugar de cuatro). Todos éstos son candidatos para la vida sintética y, por tanto, son también posibilidades para formas alternativas de vida natural. Dado que es muy baja la probabilidad de que unos microorganismos que utilicen una bioquímica fundamentalmente distinta respondan de una manera interpretable a las técnicas bioquímicas estándares, los microbios extraños de este tipo podrían estar a nuestro alrededor sin que hayamos podido identificarlos.

Una forma más radical de vida extraña sería unos organismos que usaran elementos químicos distintos. La vida tal como la conocemos se basa en las propiedades únicas de la química del carbono, pero también utiliza otros elementos esenciales: hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O), fósforo (P) y azufre (S). Se ha especulado con la posibilidad de que el silicio sustituya al carbono, una conjetura que llegó incluso a aparecer en un capítulo de *Star Trek*, pero que los bioquímicos no han tomado muy en serio porque el silicio no puede formar la extraordinaria gama de complejas moléculas que puede formar el carbono. Un candidato más plausible se debe a mi colaboradora Felisa Wolfe-Simon, quien propuso que el fósforo podría

estar sustituido por el arsénico.^[3.18] El arsénico puede hacer el mismo trabajo estructural y de almacenamiento de energía que el fósforo, y además puede proporcionar una fuente de energía (es decir, de alimento).^[3.19] De hecho, existen microbios que viven del arsénico, pero que no lo inhalan, por así decirlo: extraen del compuesto de arsénico la energía y eliminan enseguida el arsénico como desecho. Este elemento es un veneno precisamente porque nuestro cuerpo tiene dificultades para distinguirlo del fósforo. Felisa espera encontrar microbios extraños que incorporen arsénico a sus compuestos vitales y para los cuales el fósforo sería un veneno.

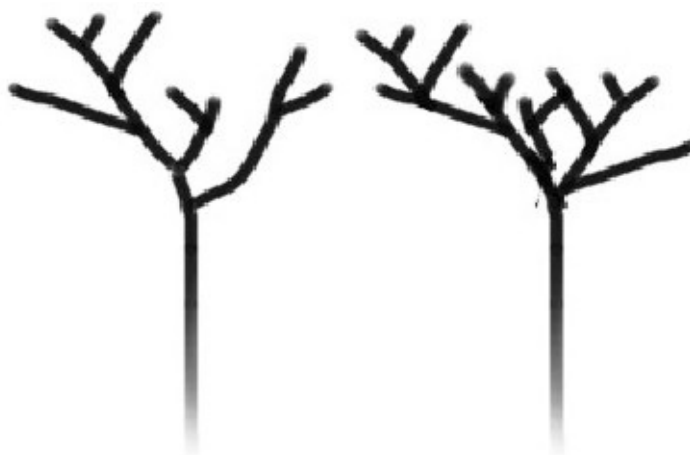
Cómo distinguir una raíz de una rama

Si algún día llegamos a descubrir vida extraña, la prioridad será determinar si pertenece a un árbol de la vida verdaderamente distinto o si, por el contrario, no es más que una rama del árbol de la vida conocido que todavía no habíamos descubierto. Esta distinción se ilustra en la figura 4. Supongamos que nos presentan dos formas de vida radicalmente distintas, que estamos tentados a atribuir a árboles separados, cada uno de ellos con un origen independiente (con lo que me refiero a transiciones independientes de la materia inerte a la vida), tal como se muestra en la figura 4a. Sin embargo, al investigarlas más a fondo podríamos descubrir que «bajo tierra» las dos ramas se unen en un sistema radical común (figura 4b), es decir, que en último análisis las formas de vida distintas pertenecen a un mismo árbol, pero divergieron antes que el último antepasado común de la vida estándar.

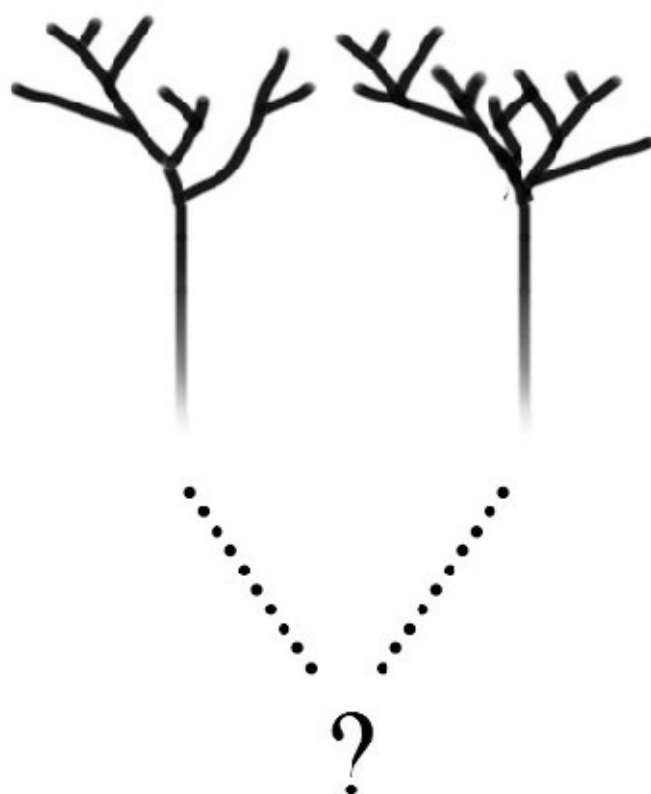
El árbol de la vida que conocemos consiste en tres «ramales» diferenciados que se separaron hace miles de millones de años (véase la figura 2). Uno de los ramales contiene las bacterias. Otro contiene toda la vida pluricelular, desde los humanos a los erizos. También incluye organismos unicelulares complejos como las amebas. Éste es el dominio de los eucariotas o «Eucarya». El tercer ramal está formado únicamente por microbios, pero tan diferentes de las bacterias como éstas lo son de nosotros, y reciben el nombre colectivo de arqueas o «Archaea». La cuestión que planteo es: ¿cómo sabemos que no existe un *cuarto* ramal, todavía por descubrir, que se separó aún antes de la trifurcación en bacterias, eucariotas y arqueas? Si alguna vez descubriéramos una forma de vida exótica, tendríamos que eliminar la explicación del «cuarto ramal» antes de concluir que constituye una prueba de un segundo árbol.

¿Cómo puede distinguirse una rama baja y enterrada de un árbol distinto? La respuesta dependerá en parte de lo extraña que sea la vida extraña. Por decirlo con una frase manida, el diablo está en los detalles. Pensemos en el caso de la «vida especular» (organismos con la quiralidad invertida). ¿Es concebible que las primeras formas de vida fuesen aquirales, es decir, construidas sólo a partir de moléculas con simetría especular, tras lo cual la vida se hubiera dividido en dos dominios, uno poblado por organismos con azúcares levógiros y aminoácidos dextrógiros, y el otro por organismos con las formas especulares? Parece extremadamente improbable. Las moléculas pequeñas y simples suelen mostrar simetría especular, pero las moléculas de complejidad siquiera moderada tienen versiones levógira y dextrógira. Es muy

difícil concebir que un sistema con la complejidad de un organismo vivo pueda construirse únicamente con moléculas aquirales. Así que el descubrimiento de vida especular sería una fuerte indicación de acontecimientos múltiples de génesis.



A



B

FIGURA 4. ¿Árbol o bosque? Si en la Tierra coexistieran dos formas de vida, sería importante determinar si corresponden a árboles de la vida separados, con origen independiente, como en **A**, o si simplemente a lo largo de su evolución han divergido mucho a partir de un único origen común, como en **B**.

En cambio, si se descubriese una forma de vida extraña que se pareciera a la vida estándar en todo menos en el código genético sería fácil defender la tesis de que

ambas formas tuvieron una génesis común y un código precursor común, tras lo cual la vida se habría dividido en dos formas que evolucionaron hacia códigos distintos. Al menos una versión de este escenario parece plausible. El código de tripletes que utiliza la vida estándar es complicado, y algunos biólogos han conjeturado que evolucionó a partir de un precursor más sencillo, tal vez un código de dobletes basado en sólo dos nucleótidos (G y C) y diez aminoácidos. Cabría esperar que esta versión reducida de la vida estándar fuese menos compleja, pero tal vez pudiera prosperar perfectamente hace tres o cuatro mil millones de años. El código de tripletes podría haber evolucionado más tarde, ofreciendo una mayor versatilidad que habría permitido a la vida expandirse en un abanico aún más amplio de ambientes. La transición de un código de dobletes a uno de tripletes podría haberse producido más de una vez, o el código de tripletes original se podría haber dividido con posterioridad en variantes.

Pero se presenta una posibilidad todavía más interesante. ¿Es posible que algunos de esos «tipos de antaño» anden todavía por ahí, viviendo al viejo estilo de un código de dobletes G-C? Una vez más, estos «fósiles vivientes» se pasarían por alto en los análisis bioquímicos estándar, pero serían fáciles de identificar si los investigadores decidieran buscarlos.^[3.20] Del mismo modo, si se descubriese vida que usase arsénico, tendríamos que averiguar si la vida estándar comenzó de ese modo y luego evolucionó reemplazando el arsénico con el fósforo. Pero por fascinante que pueda ser el descubrimiento de tales organismos precursores, no llegaría al verdadero núcleo de la cuestión, que es la posibilidad de orígenes múltiples. Para estar seguros de que una vida extraña descende realmente de una segunda génesis, tendría que ser lo bastante distinta de la vida estándar para que no pudiera haber existido un antepasado común plausible. Ese criterio sería difícil de establecer si las dos biosferas se solaparan y utilizaran mucha química en común. Aún más difícil sería si las dos formas llegaran a estar parcialmente integradas bioquímicamente, por ejemplo, mediante el intercambio de genes u otras estructuras, haciendo de este modo borrosa la división entre sus linajes separados y confusa toda su historia evolutiva. No podemos descartar que una forma de vida «ocupase» a otra, al estilo de *Quatermass*, infiltrando componentes básicos de sí misma en un hospedador receptivo, sobre todo si las dos formas separadas de vida se encuentran en vías evolutivas convergentes. Todo esto sería una complicación indeseable. Sería triste y enojoso que la vida hubiera comenzado en la Tierra muchas veces, pero hubiera convergido y se hubiera mezclado, dejándonos sin esperanzas de desenmarañar sus múltiples raíces.^[3.21] Personalmente, no creo que la convergencia evolutiva pueda llegar a ser tan fuerte. Podría producir grandes rasgos que se asemejen, pero parece poco probable que pueda implicar esquemas bioquímicos específicos.

Suele argumentarse que si dos formas de vida distintas se encontraran codo con

modo, una de ellas acabaría por obtener una ventaja y eliminar a la otra. Nunca he llegado a convencerme de que las cosas hayan de desarrollarse así. La existencia pacífica es otra posibilidad; puede surgir de dos modos. En primer lugar, si las dos formas son lo bastante distintas como para convivir con total indiferencia mutua, no competirían de ningún modo. Por ejemplo, la vida especular no competiría directamente con la vida conocida porque, en gran medida, estas dos formas de vida utilizarían moléculas distintas como alimento. Una de las formas podría llegar a dominar en términos numéricos, pero ¿y qué? Los microbiólogos están familiarizados con el hecho de que algunas especies son muy raras, pese a lo cual constituyen un componente estable de la población microbiana total. El segundo tipo de coexistencia pacífica se produce cuando las poblaciones de tipos microbianos muy dispares alcanzan alguna forma de acomodo. Encontramos un ejemplo en la convivencia codo con codo de bacterias y arqueas, dos grandes dominios microbianos que comprenden millones de especies que a menudo comparten nichos parecidos. Puede pensarse que esta tolerancia se debe a que los dos dominios han alcanzado algún tipo de integración bioquímica, matrimonio en lugar de rivalidad. El intercambio de genes se produce continuamente en la vida, sobre todo en los microbios. Pero, en realidad, las arqueas y las bacterias han protegido celosamente ciertos genes fundamentales. Por lo que sabemos, las arqueas nunca han compartido con las bacterias (o los eucariotas) su capacidad para realizar un metabolismo que produce metano; sin embargo, la metanogénesis es común en las arqueas, y se produce en lugares tan diversos como las chimeneas del océano profundo y el intestino humano. En el sentido contrario, no parece que la fotosíntesis haya pasado nunca de las bacterias (o los eucariotas) a las arqueas.^[3.22] Así que es evidente que formas muy distintas de microbios pueden competir en el mismo espacio por muchos recursos comunes, sin que una forma acabe por eliminar a la otra.

Incluso si los descendientes de otros orígenes se extinguieron hace mucho tiempo, tal vez hayan dejado algún resto de su antigua existencia en forma de fósiles o biomarcadores moleculares distintivos. Por ejemplo, los esteranos (moléculas con cuatro anillos) son producidos por células complejas y, que se sepa, no pueden formarse por ningún medio abiótico. Los esteranos se han encontrado en trazas en microfósiles que datan de hace 2.700 millones de años. Si se descubrieran fósiles que contuvieran esteranos «especulares», o sea, con la quiralidad opuesta, podría considerarse un indicio de vida especular en el pasado. Muchas otras moléculas orgánicas complejas producidas por vías metabólicas radicalmente distintas podrían sobrevivir en rocas durante mucho tiempo. Una forma indirecta en que la vida extraña extinta podría haber dejado una traza es a través de su acción sobre minerales. Se cree que muchos depósitos minerales, entre ellos los de hierro, cobre y oro, son biogénicos, es decir, su deposición y concentración fueron causadas, al menos en

parte, por la actividad de microbios que utilizaban esos metales en su metabolismo. El hallazgo de un depósito mineral que no haya podido crear la vida conocida, pero presentara los signos de un origen biogénico, sería una prueba circunstancial del funcionamiento de una bioquímica alternativa.

¿Se ha encontrado ya una vida en la sombra?

De julio a septiembre de 2001, la región meridional del estado de Kerala, en la India, se empapó varias veces en una lluvia roja. Se recogieron muestras y se enviaron para su análisis a laboratorios indios y británicos. Se descubrió que el agua contenía células móviles que se asemejaban a las bacterias. No tardó en rumorearse que la lluvia roja de Kerala contenía microbios extraterrestres. Recibí de algunos investigadores indios secuencias de vídeo que mostraban unas células que se meneaban, pero tenían forma indiferenciada y podían ser cualquier cosa. Como ocurre frecuentemente con estos misterios científicos, la investigación se fue apagando sin arrojar resultados concluyentes. Varios mecanismos físicos pueden explicar la lluvia de color, que ha resultado ser una característica persistente en el sur de la India, así que la idea de que alguna forma de vida extraña procedente del espacio descendió sobre Kerala no debe tomarse muy en serio. Por otro lado, si unos microbios extraños tolerantes a la radiación UV habitasen en las capas altas de la atmósfera, cabría esperar que, de vez en cuando, cambios en la meteorología los llevasen a altitudes más bajas, donde podrían servir de núcleos para la formación de gotas de lluvia y bajar con ellas hasta el suelo. Lo más interesante es que se han hallado bacterias en el aire que pueden nuclear cristales de hielo gracias a que secretan unos enzimas especiales, lo que les proporciona un ingenioso medio para alcanzar el suelo en copos de nieve.^[3.23]

Otro fenómeno intrigante es la extraña capa que recubre rocas en la mayoría de las zonas áridas del mundo, conocida como barniz del desierto o corteza del desierto. Su origen ha sido una especie de enigma desde que el propio Darwin comentó el caso. Esta cubierta sin duda contiene vida microbiana, así como combinaciones inusuales de minerales (por cierto, que algunas contienen arsénico). La composición química de la capa es muy distinta a la de las rocas que envuelve. No está claro si este barniz es un producto de la vida, o una compleja capa mineral que ha sido invadida, de manera oportunista, por la vida. Proporciona, sin embargo, una fuente fácilmente asequible de materia «moderadamente extraña» que merece una investigación profunda. Mis colegas del Beyond Center llevaron a cabo un proyecto piloto, pero hasta el momento no le ha seguido una investigación a fondo. Ahora estamos a punto de analizar nuevas muestras.

Probablemente la afirmación más persistente de que ya se ha descubierto vida extraña sea la que se refiere a unas formas diminutas llamadas nanobacterias. Estas

pequeñas bolitas miden tan sólo unos pocos nanómetros (un nanómetro es una milmillonésima de metro). Se parecen a las bacterias, pero son demasiado pequeñas para contener ribosomas, las máquinas que se ocupan de la síntesis de proteínas y que son un componente clave de toda la vida que conocemos. Se han encontrado nanobacterias en rocas,^[3.24] pozos de petróleo^[3.25] y en la sangre.^[3.26] Se han relacionado con numerosas enfermedades, desde trastornos renales a la enfermedad de Alzheimer, y han atraído incluso la atención de compañías farmacéuticas. La afirmación de que estas estructuras sean organismos vivos, como implica el uso del término «bacterias», es muy controvertida; si lo son, cuesta aceptar que puedan ser vida estándar. Tal vez sean una forma de vida extraña que ensambla proteínas de una manera distinta, o que usa otro tipo de enzima. O tal vez ni siquiera sean unos seres vivos. Una teoría, sugerida por Steve Benner, es que algunas nanobacterias podrían ser una forma de vida basada en el ARN, que no necesita proteínas hechas por ribosomas porque el ARN cumple las funciones tanto de las proteínas como del ADN.^[3.27]

Las nanobacterias fueron impulsadas a la fama por la persona menos pensada: el presidente Bill Clinton. En agosto de 1996, Clinton anunció que los científicos de la NASA habían descubierto indicios de vida en Marte, en forma de unas estructuras microscópicas en el interior de un meteorito hallado en la Antártida en 1984, y cuyo origen —se había demostrado con posterioridad— era Marte (véase la lámina 8). Estas formas se parecían en todo a bacterias fosilizadas, salvo por el hecho de que eran unas diez veces más pequeñas que los microbios terrestres más diminutos. Hubo quien se apresuró a concluir que las nanobacterias provenían de Marte. Muchos científicos comenzaron a creer que algunos microbios vivos podían pasar de Marte a la Tierra en el interior de meteoritos. Todo el mundo estaba excitado. Hoy el alboroto se ha apaciguado, pues el análisis a fondo del meteorito ha ido erosionando la creencia de que contiene marcianos fosilizados, y ya son muy pocos los científicos que la suscriben.^[3.28]



LÁMINA 8. Este meteorito de Marte, hallado en la Antártida en 1984, contiene algunas estructuras diminutas (véase recuadro) que sugieren nanobacterias.

Con independencia de cuál sea la evidencia a favor de la vida en el meteorito de Marte, la afirmación de que hay nanobacterias en la Tierra sigue sin resolverse. Hace varios años visité a Philippa Uwins en la Universidad de Queensland, en Brisbane (Australia). Mientras realizaba un análisis de rutina para una compañía de prospección petrolífera, Philippa había encontrado unas formas extrañas con aspecto de bacterias en muestras procedentes de unas perforaciones en la costa de Australia Occidental. Realizó su descubrimiento con la ayuda de un microscopio electrónico para estudiar los detalles finos del material, y bautizó a las formas con el nombre más neutral de «nanobios» (véase la lámina 9).



LÁMINA 9. Estas formas minúsculas, bautizadas como «nanobios» por su descubridora, Philippa Uwins, han sido interpretadas por algunos, de forma controvertida, como una extraña forma de vida. Son demasiado pequeños (alrededor de 100 nm) para ser microorganismos estándar.

Como las nanobacterias, los nanobios son demasiado pequeños para ser células vivas normales. Philippa se ilusionó, justificadamente, cuando detectó ADN en su interior. Me mostró las pruebas. Con la ayuda de un tipo de mezcla química llamado coloide de oro, consiguió que el oro se uniera al ADN para luego, en las imágenes al microscopio, comprobar que se encontraba en el *interior* de los nanobios, y no libre en el medio. Esta prueba era importante, pues es posible que fragmentos de ADN resultantes de la descomposición de microbios normales quedasen pegados a superficies minerales y de este modo preservados. El hecho de que los nanobios contuvieran ADN sugirió a Philippa que, si no eran organismos vivos, lo habían sido en otro tiempo, pero que seguramente carecían de ribosomas para la síntesis de proteínas a causa de sus minúsculas dimensiones. Sin embargo, no logró obtener una secuencia de ADN con sentido, lo que tal vez implicara que se enfrentaba a una forma de vida extraña basada en el ADN que utilizaba un código genético distinto. Una explicación más prosaica es que los nanobios son cápsulas minerales formadas alrededor de los detritos de ADN que flotan en el petróleo.

Las investigaciones realizadas por John Young y su estudiante Jan Martel en la

Universidad Rockefeller les han llevado a la conclusión de que las nanobacterias, o nanobios, no están vivos. Young y Martel sugieren que se trata de complejos químicos constituidos por materia orgánica combinada con el mineral común de la caliza, el carbonato de calcio, que formarían formas amorfas que superficialmente recuerdan a unas células diminutas.^[3.29] Los investigadores se apresuran a señalar que, con todo, las nanobacterias no dejan de estar relacionadas con la cuestión del origen de la vida, pues proporcionan un ejemplo en la naturaleza de autoensamblaje químico, que quizá sea uno de los pasos en el camino que conduce a la vida, aun cuando las nanobacterias todavía no lo sean. Las comparan con los priones, unas sustancias químicas parecidas a las proteínas que pueden dar formas anómalas en una especie de reacción en cadena que acaba produciendo enfermedades como el kuru y la «enfermedad de las vacas locas».

Los ejemplos anteriores son sugerentes, pero no concluyentes, y es obvio que requieren más investigación. Entretanto, la caza de la vida en la sombra, la vida extraña, va cobrando fuerza en todo el mundo.

Buscando el mundo en la sombra

Como ya he explicado, mi colega Felisa Wolfe-Simon tiene la corazonada de que podría haber microbios extraños que usan arsénico, y hace poco la NASA le ha financiado un proyecto para buscarlos. ¿Dónde podrían esconderse estos arsenófilos? Un lugar obvio es un medio rico en arsénico. Muchos lagos y manantiales de todo el mundo están contaminados con arsénico y constituyen un riesgo para la salud. El lago Mono, en California, un prodigio ecológico en la sección oriental de Sierra Nevada, cerca del parque nacional de Yosemite, es un pintoresco refugio para la vida salvaje exótica, y nada tiene más exótico que sus habitantes microbianos. El lago tiene una concentración insólitamente elevada de arsénico, y acoge a muchos organismos peculiares, muchos de los cuales parecen aprovechar la abundancia de este elemento. El gran experto en los arsenófilos del lago Mono es Ron Ormeland, del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), que ha acogido el proyecto. Hasta la fecha, ninguno de los microbios que ha estudiado es una genuina forma de vida extraña que incorpore el arsénico en sus extrañas, como había sugerido Felisa. Se trata más bien de simples adaptaciones inusuales de la vida estándar. Pero la búsqueda de la vida basada en arsénico no ha hecho más que empezar, y Ron y Felisa han ideado una forma de acelerarla. Toman muestras del cieno del fondo del lago que llevan al laboratorio para realizar cultivos y experimentos. Allí, los microorganismos se someten a niveles cada vez más altos de arsénico. En el lago Mono, los microbios estándar pueden haberse adaptado para soportar el arsénico, pero su tolerancia tendrá límites, y a cierto nivel de concentración las células recibirán una sobredosis que las matará lentamente, envenenadas por este elemento cual diminutas víctimas de una novela de Agatha Christie. En cambio, la auténtica vida del arsénico se zampará el cóctel y su población crecerá. Mediante series de cultivos con concentraciones cada vez más altas de arsénico, los investigadores esperan que cualquier microbio basado en el arsénico, por poco abundante que sea al principio, se multiplique con rapidez desplazando por competencia a las formas de vida estándar hasta dominar la población microbiana.

Una indicación de la vida basada en el arsénico sería la presencia de una estructura que sea común en la vida estándar, pero en la cual el fósforo haya quedado sustituido por arsénico. Un ejemplo serían los nucleótidos, las piezas básicas para la construcción del ADN, en los que el fósforo desempeña un papel central. Otro es la membrana celular, que está constituida por cierto tipo de lípido que contiene fósforo.

Estas dos estructuras pueden analizarse en busca de arsénico mediante análisis químicos convencionales. Un tercer experimento utiliza arsénico radiactivo como trazador para ver si se incorpora en la biomasa.

Otra aproximación que estamos desarrollando consiste en realizar un muestreo lo más exhaustivo posible de la vida de los océanos. En 2004, Craig Venter, que ya había ayudado a secuenciar el genoma humano, sorprendió una vez más a la comunidad científica anunciando que había aislado la pasmosa cantidad de 1,2 millones de nuevos genes y 1.800 microbios previamente no identificados en una muestra de agua tomada en el aparentemente yermo mar de los Sargazos. En un elocuente comentario, dijo: «Buscamos vida en Marte, y todavía no conocemos la que hay en la Tierra».^[3.30] Exactamente. Casi todo lo que sabemos sobre la biodiversidad en el dominio microbiano proviene del estudio de una fracción diminuta de organismos que pueden cultivarse en el laboratorio. Eso claramente no es nada representativo. Tenemos la certeza de que debe haber un número inmenso de microorganismos poco frecuentes que han pasado totalmente desapercibidos para los métodos moleculares estándar, y tal vez entre ellos se encuentren algunos microbios extraños que en cualquier caso no responderían a las técnicas estándar aunque se encontrasen con una abundancia relativamente alta. El llamado análisis de perdigonada de Venter, en el que el ADN de muchas muestras de células se hace añicos al azar hasta que sólo quedan pedazos diminutos que luego se secuencian, permite a los científicos medir la diversidad genética de una muestra en masa, sin necesidad de identificar por separado y cultivar después cada una de las especies identificadas. El desafío es cómo ampliar estas técnicas para que detecten también microorganismos *no* estándar que pudieran formar parte de la biosfera en la sombra. Idealmente la técnica debería abarcar a los virus extraños, o a cualquier tipo de parásitos moleculares ultrapequeños que pudieran ser totalmente nuevos.

En la actualidad están en marcha varios proyectos de muestreo de los océanos que nos ofrecen una oportunidad de oro para descubrir la vida extraña que podría esconderse en el mar. Un proyecto internacional de tres años de duración llamado Tara-Oceans está realizando un ejercicio de muestreo global, dirigido principalmente a estudiar el impacto de la acumulación de dióxido de carbono sobre la biodiversidad marina. Este proyecto también examinará ecosistemas del océano profundo y muestreará la microbiología de todos los océanos del mundo. Los científicos del proyecto también mantendrán los ojos abiertos ante la posibilidad de una biosfera en la sombra, para lo cual utilizarán diversas técnicas para identificar vida extraña, y traerán algunas muestras seleccionadas al Beyond Center, donde se realizarán análisis de laboratorio.

El descubrimiento de una forma de vida que sólo hubiera podido surgir por medio de una segunda génesis sería el acontecimiento más sensacional de la historia de la

biología, y tendría enormes consecuencias para la ciencia y la tecnología. También tendría aplicaciones inmediatas en la astrobiología, pues entonces estaríamos seguros de que el universo está realmente lleno de vida, como muchos se apresuran a afirmar de una manera superficial. No obstante, el objetivo del SETI no es simplemente encontrar vida más allá de la Tierra, sino vida *inteligente*. Podría ser que la vida fuese común pero la inteligencia rara. ¿Cuál es la probabilidad de que, una vez la vida comienza en un planeta, tarde o temprano evolucione hacia la inteligencia?

¿CUANTA INTELIGENCIA HAY AHÍ AFUERA?

A veces pienso que la señal más clara de que en algún lugar del universo hay vida inteligente es que no ha intentado contactar con nosotros.

Bill Watterson, humorista gráfico

La falacia de *El planeta de los simios*

Si alguno de nosotros pudiera subirse a una máquina del tiempo y visitar la Tierra de hace 3.500 millones de años, encontraría continentes yermos y océanos desiertos. El único signo de vida serían unos montículos de aspecto correoso y nada llamativo dispersos por los esteros que descubre la marea. Estas estructuras con forma de domo, que reciben el nombre de estromatolitos, varían en tamaño, desde unos pocos centímetros hasta un metro. Los estromatolitos no son en sí mismos organismos vivos, sino que están formados por capas minerales depositadas por microbios que habitan en su superficie. Por lo que sabemos, no había mucha más vida que ésta hace 3.500 millones de años.

En el presente, sin embargo, la vida abunda en nuestro planeta. Hay millones de especies de organismos complejos que vuelan, reptan, excavan, nadan o hacen la fotosíntesis. Esta rica y variada vida ha evolucionado, a veces de manera gradual, a veces a trompicones, durante los miles de millones de años que han transcurrido desde la época de los estromatolitos. Si hay una sola palabra que pueda invocarse para describir esta transformación, ésta es «progreso». Algunos prefieren decir «avance». La impresión abrumadora que uno recibe al estudiar el registro evolutivo es de exuberancia biológica, de vida que se extiende hasta casi todos los rincones, que experimenta sin cesar con nuevas y mejores adaptaciones, desarrollando planes corporales cada vez más complejos. En la elocuente prosa de Darwin: «Mientras este planeta ha ido girando de acuerdo con la ley fija de la gravedad, desde un principio tan simple han evolucionado, y siguen evolucionando, las formas más maravillosas».

[4.1]

Muchos biólogos (entre ellos el propio Darwin) abrazaron con mayor o menor fuerza esta visión de un progreso evolutivo general, un paulatino y firme avance de lo primitivo a lo sofisticado, de lo simple a lo complejo. Y la cima de ese progreso es, como puede imaginarse, el Hombre. Distinguido por su gran cerebro y superior inteligencia, el *Homo sapiens* se erige en el símbolo arquetípico de una naturaleza que se esfuerza por producir formas de vida mejores y más sofisticadas. Al hilo de este argumento, cabe esperar que este progreso imparable no sea una mera aberración terrestre, sino una propiedad básica del orden natural de las cosas, de modo que podemos esperar que se repita en todos los planetas que poseen vida. Si sembramos vida en un planeta y regresamos al cabo de unos pocos miles de millones de años, esperaríamos hallar cultura, lenguaje, tecnología, ciencia y, con un poco de suerte,

radiotelescopios. En otras palabras, la inteligencia, y su manifestación en forma de una sociedad tecnológica, es algo que casi por obligación debe emerger tarde o temprano allí donde comience la vida, suponiendo que no se produzca algún desafortunado accidente (como que explote la estrella del planeta en cuestión). Es un punto de vista muy extendido y adoptado por Carl Sagan y muchos investigadores del SETI, pero ¿es correcto?

La explicación optimista o «progresiva» de la inteligencia recibe un respaldo en los estudios sobre la evolución del cerebro. El tamaño absoluto del cerebro no es por sí mismo una buena medida de la inteligencia, pues una gran parte del cerebro se utiliza para hacer funcionar el cuerpo, de modo que los cuerpos grandes requieren un cerebro de mayor tamaño. Por ejemplo, un gato, que tiene un cerebro del tamaño de una nuez, no es obviamente más estúpido que un tigre de Bengala. El llamado cociente de encefalización (CE) es un intento por resolver este problema comparando el tamaño observado con el tamaño medio esperado para el tamaño del animal en cuestión.^[4.2] Como cociente de referencia se toma el 1, de manera que los valores superiores a 1 corresponden a cerebros relativamente grandes, y los menores que uno, a cerebros relativamente pequeños. Los cerebrales humanos podemos alardear de un CE de alrededor de 7,5, los chimpancés (nuestros parientes vivos más cercanos), de 2,5, y los delfines, de 5,3. (Por si a alguien le interesa, los gatos se quedan en un mediocre 1.)^[4.3] Los neandertales, que probablemente no fuesen nuestros antepasados directos, sino una rama distinta del género *Homo*, tenían un EC alrededor de 5,6. Si se representa en una gráfica la evolución del CE en nuestro linaje a lo largo de los últimos millones de años, parece mostrar una tendencia de crecimiento acelerado. Hay incluso quien asevera que el crecimiento es exponencial.^[4.4] Es casi como si la inteligencia «despegase» como una gran idea evolutiva y se disparara a lo alto, como si la evolución de algún modo la «favoreciera» y, por tanto, cupiera esperar lo mismo en cualquier planeta que posea organismos con algo parecido a un sistema nervioso central.

¡Ah!, si fuera tan simple. Por desgracia, la visión popular de la evolución como progreso es, en el mejor de los casos, una grave simplificación, y en el peor de los casos, sencillamente incorrecta. Uno de los aspectos esenciales del darwinismo es que la vida no puede «mirar hacia delante» y acomodar los cambios evolutivos a un objetivo deseable o a una oportunidad futura. Las mutaciones se producen al azar y sólo se seleccionan según lo que funcione mejor en ese momento. La naturaleza no puede prever el futuro más de lo que podemos hacerlo nosotros, así que la idea de que la vida se esfuerza activamente por alcanzar un fin predeterminado, o que de algún modo está canalizada hacia ese fin, es errónea. Sobre este aspecto hizo mucho hincapié el desaparecido Stephen Jay Gould, que utilizaba la analogía de un borracho que camina apoyándose en un muro y más tarde es encontrado tumbado en la cuneta.

¿Acaso el borracho pretendía dirigirse a la cuneta? No, simplemente fue dando tumbos al azar, pero como el muro le impedía moverse en la dirección opuesta a la cuneta, era sólo cuestión de tiempo que se encontrara con el bordillo, perdiera el equilibrio y cayera. El proceso crea una ilusión de direccionalidad a causa de la asimetría del escenario. Del mismo modo, decía Gould que la vida no *se dirige* hacia la complejidad o el «progreso». Comienza de forma simple (por necesidad), y no tiene a donde ir si no es hacia arriba.^[4.5] La vida se hace por término medio más compleja con el tiempo, no porque sea sutilmente dirigida hacia la complejidad, sino simplemente porque explora aleatoriamente la gama de posibilidades, la mayoría de las cuales son más complejas que cuando se inicia. Gould creía que la falsa concepción del «progreso» se ve agravada por la metáfora del árbol de la vida que utilizó por primera vez Darwin, que tiene una clara dirección (hacia arriba), mientras que un arbusto o una mata serían metáforas más adecuadas. Resumiendo este punto de vista, podría decirse que la vida simplemente «va hacia arriba a medida que avanza». La inteligencia es sólo una de las cosas que inventó. Lo que queremos saber, desde la perspectiva del SETI, es, naturalmente, en qué medida es *probable* que la vida «tropiece» a tientas con la inteligencia (como el borracho) durante su viaje evolutivo. ¿Ocurrirá a veces? ¿Muy a menudo? ¿O casi nunca?

Un factor fundamental para acometer estas cuestiones es el fenómeno de la convergencia evolutiva, que se produce cuando la misma solución biológica es descubierta para resolver problemas parecidos, pero siguiendo rutas distintas desde puntos de partida diferentes. Los ejemplos son abundantes.^[4.6] Las alas se inventaron muchas veces, en los insectos, las aves, los mamíferos e incluso en los peces. Han surgido de manera independiente porque volar o planear aporta ventajas evolutivas obvias en algunas circunstancias, y porque formar alas mediante la adaptación de distintos órganos (la piel entre las extremidades en los zorros voladores, las aletas en los peces...) es un paso relativamente sencillo. Los ojos también han aparecido muchas veces. De hecho, hay muchos tipos distintos de ojos. La vista también proporciona grandes ventajas, así que no es raro que la evolución la haya descubierto una y otra vez de forma independiente.

Un debate interesante en la biología es el que versa sobre las pautas o tendencias generales manifestadas por la convergencia evolutiva, y sobre si es legítimo describir algunas de éstas en términos de «nichos disponibles». Veamos un ejemplo. Tras la ruptura de los supercontinentes Gondwana y Laurasia, la evolución animal divergió en los continentes separados. Lo que hoy es Australia acabó de separarse de Gondwana hace unos 50 millones de años, y allí acabaron por dominar los mamíferos marsupiales, mientras que en los otros continentes dominaron los mamíferos placentarios. Cuando los aborígenes arribaron a Australia hace 50.000 años, descubrieron un feroz carnívoro depredador que hoy conocemos como *Thylacoleo*.

Por desgracia, este animal hoy está extinguido, posiblemente a causa de la caza o del cambio climático. El *Thylacoleo* evolucionó a partir de marsupiales herbívoros, pero acabó comiendo, comportándose y pareciéndose mucho al tigre de dientes de sable de América del Norte, que descendió de mamíferos placentarios. Así pues, podría decirse que el *Thylacoleo* «ocupaba el nicho del tigre» en el ecosistema australiano. Esta burda manera de expresarlo implica que realmente existe un «nicho del tigre» que espera a ser llenado, igual que un nicho de las alas y un nicho de los ojos.

Como la convergencia evolutiva es tan común y poderosa, la metáfora del nicho tiene cierta fuerza. Pero conviene usarla con mucho cuidado. Lo que deseamos saber para el SETI es si existe un «nicho de la inteligencia», que en la Tierra vinieron a ocupar los humanos, desde que hace unos pocos millones de años en África nuestros antepasados comenzaron a caminar erguidos y a utilizar herramientas, un proceso de desarrollo que nos ha llevado hasta los radiotelescopios. Si este razonamiento es sólido, ¿podemos esperar de igual modo que ET ponga la «I» en SETI? No hay consenso sobre este extremo. Charley Lineweaver, un astrobiólogo de la Universidad Nacional de Australia, se ha mostrado muy escéptico acerca del argumento del nicho de la inteligencia.^[4.7] Le gusta comparar las alas y los ojos con las trompas. Un gran elefante africano que supiera algo de biología podría llegar a la conclusión errónea de que los 3.500 millones de años de la evolución estuvieron dirigidos hacia trompas más largas y versátiles, argumentando que existe un «nicho de las trompas» que él, *Loxodonta africana*, fue llamado a ocupar por la Madre Naturaleza. Al examinar su linaje evolutivo, el elefante podría sentirse tentado a diseñar un «cociente de nasalización» (en lugar de un cociente de encefalización). El registro fósil mostraría un rastro evolutivo desde unos predecesores de trompa corta que conduciría, centímetro a centímetro de trompa, hasta el moderno elefante, una tendencia que podría llevar a un animal chovinista a concluir que como el cociente de nasalización se ha ido acelerando con el tiempo, el elefante africano que ostenta tan magnífica trompa realmente estaba destinado a ser.

La naturaleza ridícula de esta argumentación es evidente cuando trata de las trompas, pero sigue convenciendo a mucha gente cuando se aplica a la inteligencia. Las trompas son, al fin y al cabo, apéndices triviales que han tenido muy poco impacto en el mundo, mientras que la inteligencia humana ha transformado el planeta. ¿Acaso no es la inteligencia elevada más profunda, biológicamente más fundamental y, de manera general, mucho más significativa que las trompas largas? Claro que diremos eso, concede Lineweaver. Valoramos los cerebros grandes porque eso es lo que tenemos. Los elefantes (presumiblemente) valoran las trompas largas porque eso es lo que tienen. No hay ninguna razón objetiva por la que uno u otra sea más importante, o esté más «predestinado». Y añada que podemos esperar encontrar alienígenas con una larga trompa tanto como alienígenas con inteligencia. (Lo

divertido del caso es que una novela de 1985, escrita por Larry Niven y Jerry Pournelle titulada *Ruido de pasos*, tiene como protagonistas a unos alienígenas elefantescos que, además, están dotados de una gran inteligencia, aunque no tanto como para ganar una guerra contra nosotros, los astutos humanos). A Lineweaver le gusta citar la película de Hollywood, bastante mala por cierto, *El planeta de los simios*, protagonizada por Charlton Heston, como un ejemplo clásico de la pretendida falacia. En la película, la humanidad es destruida por una guerra nuclear, pero los simios están esperando en la antesala de la evolución, prestos para ocupar el «nicho de la inteligencia» que de modo tan súbito ha quedado desocupado. Al cabo de unos pocos siglos ya han «tomado posesión», y han descubierto las armas de fuego, las cárceles y a montar a caballo, subiendo en la escalera evolutiva el escalón del que el *Homo sapiens* ha sido desplazado de forma abrupta.

En el contexto del SETI, el argumento se reduce a lo siguiente: podemos hacer una lista de caracteres, como los ojos, las alas y quizá la naturaleza tigresa, para los que parece haber «nichos esperando», y otros como las plumas del pavo real y las trompas de los elefantes, que parecen ser incidentales, incluso accidentes extravagantes de la evolución, unos accidentes tan especializados que es poco probable que aparezcan a menudo. Necesitamos saber a qué lista pertenece la inteligencia. Una forma de encarar el problema es preguntándose cuánto tiempo tardó la naturaleza en descubrir la inteligencia. La respuesta es que un tiempo muy largo en comparación con los ojos y las alas. La inteligencia podría haber evolucionado en cualquier momento durante los últimos 300 millones de años, desde el auge de los animales, pero la inteligencia avanzada (la que se acerca al tipo capaz de construir radiotelescopios) sólo apareció durante los últimos cientos de miles de años. Si realmente había un «nicho de la inteligencia», tuvieron ocasión de ocuparlo los dinosaurios, unos animales por lo demás de enorme éxito que, como se sabe, «reinaron en la Tierra» durante 200 millones de años antes de ser eliminados por el impacto de un cometa, abriendo así el camino a los mamíferos. ¿Por qué los dinosaurios no evolucionaron hacia un cerebro grande, construyeron cohetes y fueron a la Luna? Chris McKay ha abordado esta cuestión: «En la actualidad se considera que los dinosaurios no eran los grandullones estúpidos que dice la leyenda urbana, sino que desde un punto de vista bioquímico y conductual eran tan sofisticados como los mamíferos actuales».^[4.8] Si la inteligencia lleva consigo tan alto valor para la supervivencia, ¿por qué no surgió durante la evolución de los dinosaurios? Hubo tiempo de sobras para que ocurriera. McKay señala que el pequeño dinosaurio *Stenonychosaurus* (hoy rebautizado como *Troodon*) tenía un CE comparable al de un pulpo (un animal muy listo), y ya caminaba por la Tierra 12 millones de años antes del Día del Juicio Final de los dinosaurios. Eso es más de lo que necesitó la inteligencia humana para evolucionar a partir de un CE parecido.

Muchos científicos afirman que la vida en la Tierra es un experimento único, y que no puede llegarse a muchas conclusiones a partir de una historia evolutiva solitaria. Pero el ejemplo del dinosaurio sugiere que la evolución ha tenido al menos *dos* ocasiones para producir la inteligencia. De hecho, puede defenderse que el experimento de la inteligencia se ha realizado *varias* veces en la Tierra. Lineweaver ha señalado que en Australia no evolucionó ningún marsupial inteligente incluso después de 50 millones de años de aislamiento físico. Tampoco emergió la inteligencia en América del Norte o del Sur, o en Madagascar, todas ellas regiones extensas y ricamente pobladas que estuvieron separadas durante mucho más tiempo del que fue necesario para producir el cerebro humano. Si la evolución de los cerebros grandes y la inteligencia fuese probable, ¿no debería haberse producido más de una vez en la Tierra? En ocasiones se asevera que la inteligencia *ha* evolucionado más de una vez, en las aves, por ejemplo, y en los cetáceos.^[4.9] Según este punto de vista, los humanos son sólo unos casos atípicos y excepcionales en un continuo de inteligencia, y nuestra prodigiosa habilidad mental, el resultado de una amplificación evolutiva natural a lo largo de millones de años. Pero esta perspectiva es discutible: los humanos tienen una fuerte tendencia a buscar rasgos parecidos a los humanos en otros animales y a antropomorfizar su significación. Las aves y los cetáceos son, sin duda, muy listos a su propia manera, pero la única inteligencia que importa en el juego del SETI (tal como se juega en la actualidad) es la que conlleva alta tecnología, porque se basa en el principio de que «por sus instrumentos los conoceréis». No hay ni una pizca de evidencia de que, abandonados a sus propios recursos, las aves o los cetáceos acaben escribiendo la teoría general de la relatividad de Einstein o inventen el láser.

La conclusión de todas estas disquisiciones es que hay mucho margen para el desacuerdo. Tal vez haya una profunda ley de la naturaleza que empuje a los seres vivos hacia una mayor complejidad, y que el cerebro grande y la inteligencia sean consecuencia de ella. Pero la ciencia no conoce tal ley, a pesar de la creencia extendida de que debe existir. También es posible que la convergencia evolutiva sea tan fuerte, y una inteligencia avanzada suponga un valor tan general y elevado de supervivencia, que es inevitable que tarde o temprano evolucione, salvo que ante ello se interpongan catástrofes. No obstante, a falta de una segunda muestra de vida y una segunda historia evolutiva que comparar con la nuestra, todo esto no pasa de meras ilusiones.

¿Es la ciencia inevitable?

Supongamos que aceptamos que la inteligencia es común en el universo. La siguiente cuestión de interés para los investigadores del SETI es qué proporción de esas especies inteligentes llegan a descubrir la ciencia, a inventar la alta tecnología e iniciar comunicaciones a larga distancia. Ciertamente está de moda asegurar, en parte por razones de corrección política, que aquí en la Tierra *cualquier* sociedad humana hubiera acabado descubriendo con el tiempo la ciencia y la tecnología. Afirmar cualquier otra cosa parece implicar la superioridad de la civilización europea, donde comenzó la ciencia tal y como la conocemos, y eso algunos lo consideran chovinista y racista. Personalmente, siempre he sido escéptico en cuanto a la «inevitabilidad de la ciencia». El problema es que la ciencia funciona tan bien y se ha convertido en una parte tan importante de nuestra vida cotidiana que las personas tienden a darla por supuesta. El método científico, que se enseña (mal, en general) a todos los escolares, se percibe como un procedimiento de lo más evidente: experimentación, observación, teoría, ¿qué otra forma de descubrir la manera en que funciona el mundo podría ser más natural?

Cuando se sitúa en un contexto histórico, sin embargo, se aprecia que la visión «obvia» de la ciencia descansa sobre unos cimientos débiles. La ciencia como tal surgió en la Europa del Renacimiento bajo la doble influencia de la filosofía griega y la religión monoteísta. Los filósofos griegos enseñaban que los seres humanos podían llegar a comprender el mundo mediante el ejercicio de la razón, que alcanzó su forma más sistemática en las reglas de la lógica y los teoremas matemáticos que se siguieron de aquéllas. Afirmaban que el mundo no era arbitrario o absurdo, sino racional e inteligible, aunque fuese confuso y complicado. No obstante, la filosofía griega nunca alumbró lo que hoy entendemos como método científico, mediante el cual la naturaleza es «interrogada» mediante el experimento y la observación, a causa de la profunda creencia de los filósofos griegos de que las respuestas podían obtenerse con la sola razón. Los notables progresos de los griegos en la lógica y las matemáticas fueron cuidados y nutridos durante los siglos oscuros de Europa por los estudiosos islámicos, sin los cuales es muy dudoso que la ciencia y la matemática hubieran llegado a echar raíces en la cultura europea medieval. Un eco de esa fase islámica pervive en términos modernos como álgebra y algoritmo, y en los nombres de estrellas conocidas como Sirio y Betelgeuse. A pesar de la importancia de la fase islámica en el camino que condujo a la ciencia, por alguna razón (posiblemente

política o social) los estudiosos árabes no alcanzaron a formular leyes matemáticas del movimiento o a realizar experimentos de laboratorio en el sentido moderno del término.

Al mismo tiempo, el monoteísmo iba configurando la visión occidental del mundo durante los estadios formativos de la ciencia. El judaísmo representó una ruptura decisiva con casi todas las culturas contemporáneas al postular una explicación del cosmos como un desarrollo a lo largo de una línea del tiempo. Según la narración judaica, el universo fue creado por Dios en un momento definido del pasado, y se desarrolló de acuerdo con una serie unidireccional (creación, caída, tribulación, Armagedón, salvación, juicio, redención...). En otras palabras, el judaísmo nos cuenta una historia cósmica, la historia de un plan divino revelado en una secuencia histórica. Esto contrastaba enormemente con la visión dominante de que el mundo es cíclico: la rotación de los buenos y los malos tiempos, el auge y declive de las civilizaciones, la rueda de la fortuna. Aun hoy, la visión del mundo unidireccional, con una progresión lineal del tiempo, que impera en la civilización occidental cuadra mal con otras visiones culturales, como el Tiempo de Ensueño de los aborígenes australianos o los ciclos en las cosmologías hindú y budista.^[4.10]

El concepto lineal del tiempo, y un universo creado por un ser racional y ordenado con arreglo a un conjunto de leyes inmutables, fue adoptado tanto por el cristianismo como por el islam, y se erigió en la influencia dominante en Europa en los tiempos de Galileo. Los primeros científicos, que eran profundamente religiosos, creían que su trabajo consistía en desvelar el plan de Dios para el universo, manifestado en forma de relaciones matemáticas ocultas. Lo que hoy conocemos como leyes de la física eran para ellos pensamientos en la mente de Dios. Sin la creencia en un único creador de leyes racional y omnipotente, es improbable que nadie hubiera supuesto que la naturaleza es inteligible de una manera sistemática que queda reflejada en formas matemáticas eternas. El método científico estuvo al borde de constituir una práctica oculta en tiempos de Newton, y se realizaba a la manera de las sociedades secretas. Escribir símbolos codificados en trozos de papel y someter la materia a experimentación «no natural» en el sanctasanctórum de unos laboratorios especiales es un procedimiento arcano se mire como se mire. Así que la ciencia, que hoy tenemos por algo natural, no era muy distinta de la magia en la época en que se estableció.

Supongamos que un asteroide hubiera alcanzado París en 1300, destruyendo la cultura europea. ¿Hubiera surgido la ciencia *en algún momento* sobre la Tierra? Nunca he oído un argumento convincente de que así hubiera sido. A menudo se señala que, en tiempos de la Edad Media, los chinos eran tecnológicamente más avanzados que los europeos, lo cual es cierto. Entonces, ¿por qué los chinos no llegaron a convertirse en verdaderos científicos? Parte de la razón es que la cultura

tradicional china no estaba imbuida en la idea monoteísta de un dador de leyes trascendente.^[4.11] Fuera del mundo monoteísta, la naturaleza era percibida como algo regido por la compleja interacción de influencias rivales en forma de dioses, agentes y tendencias místicas ocultas. En la China medieval no se establecía una distinción clara entre las leyes morales y las leyes de la naturaleza. Los asuntos humanos estaban inextricablemente vinculados al cosmos, formando una unidad indivisible. Para los paganos de Europa y del Oriente Próximo, que competían con el cristianismo y el islam en sus estadios formativos, el conocimiento del cosmos se obtenía a través de la «gnosis», una comunión mística con el creador, y no por medio de la investigación racional. ¿Podría la gnosis haber conducido con el tiempo hasta la ciencia? No lo creo. Si uno no *espera* que haya un orden inteligible oculto en los procesos de la naturaleza, un orden fijo que pueda analizarse con las matemáticas, no hay motivación para embarcarse en una empresa científica.

Llegamos así a una sutileza fundamental del método científico: el papel que desempeña la teoría en la física. El poder de la física teórica nace del reconocimiento de que existen en la naturaleza principios profundos que están interconectados. Cuando Newton vio cómo caía una manzana, no vio simplemente una manzana que caía, sino que percibió un conjunto de ecuaciones que vinculaban el movimiento de la manzana con el movimiento de la Luna. La «física teórica» *no* significa «tener conjeturas sobre la física». Significa establecer un elaborado y bien trabado sistema de ecuaciones matemáticas específicas para captar aspectos de la realidad física que una inspección casual nunca nos llevaría a relacionar, y luego modelar esas relaciones de manera cuantitativa. Ninguna otra ciencia se asienta sobre este tipo de cimientos. No hay una «biología teórica», y mucho menos una «sociología teórica» o una «psicología teórica», en el sentido que tiene en la física la palabra teoría. Hay ideas, conjeturas, modelos matemáticos simples, principios organizativos, paradigmas y demás, pero no una auténtica *teoría* matemática, un conjunto de leyes (o, por lo menos, todavía no). El espectacular éxito de la ciencia física se debe a una fértil interacción entre teoría y experimentación. Sin unas mentes preparadas por los antecedentes culturales de la filosofía griega y el monoteísmo (o algo parecido), en particular la idea abstracta de un sistema de leyes matemáticas ocultas, tal vez la ciencia, tal como la conocemos, nunca hubiera emergido.

Se ha dicho a veces que, aun sin creer en un orden universal e inmutable, en un conjunto de leyes que rigen la naturaleza, cualquier sociedad que perviva el tiempo suficiente acaba tropezando con la ciencia, simplemente por ensayo y error. A fin de cuentas, los chinos descubrieron la brújula sin tener la menor idea del dínamo interno de la Tierra que genera un campo magnético ni de cómo interacciona este campo con los electrones en la brújula. A lo mejor el uso de herramientas cada vez más sofisticadas acaba conduciendo, más tarde o más temprano, a la energía nuclear, las

naves espaciales y la radiocomunicación. Para desarrollar tecnología basta con saber el *qué*, sin necesidad de entender el *cómo*. Es obvio que, en principio, es posible descubrir, paso a paso, que ciertas causas producen ciertos efectos. Sin embargo, el verdadero poder de la ciencia es que nos lleva a *diseñar* nuevas máquinas e instrumentos gracias a que *entendemos* los principios que los gobiernan. Por ensayo y error, se pueden perfeccionar las herramientas y mecanismos existentes, pero sin una base teórica sólida, no hay razón para andar buscando siquiera la mayoría de las cosas que hoy dominan la ciencia moderna. ¿Por qué habría de esperar nadie que existieran los neutrinos o las ondas gravitacionales, por poner dos ejemplos, que casi en su totalidad atraviesan la Tierra sin producir un efecto mensurable? ¿Por qué buscar la materia oscura o la energía oscura, que los astrónomos deducen a partir de meticulosas observaciones con satélites y grandes telescopios, pero que sólo cobran sentido cuando se interpretan con la ayuda de varias capas de teoría matemática? ¿Por qué construir un acelerador de partículas a no ser que se tengan razones para sospechar que *existen* unas partículas hasta el momento desconocidas e invisibles como *W* y *Z*? Existe, desde luego, una probabilidad finita de que una raza de seres sintientes pero sin ciencia consiga construir, por puro accidente alimentado por la curiosidad, un radiotelescopio o un acelerador de partículas sin tener la más mínima idea de lo que están haciendo o de qué resultado obtendrá, y sin que llegue a entender de verdad lo que encuentre cuando lo encuentre. Posible, sí, pero la probabilidad es tan ridícula que no puede tomarse en serio. Es tan tonto como decir que algún día alguien sin el menor talento o apreciación musical escribirá por accidente una sinfonía.

Admito que tal vez exista un principio profundo, y todavía desconocido, de organización social que diga, más o menos, que dada una raza de seres curiosos (la curiosidad es ciertamente un rasgo biológico), con el tiempo la ciencia es inevitable. Podría darse el caso de que la historia humana haya sido encauzada hacia la ilustración y el descubrimiento por la mano invisible de esas leyes desconocidas de la complejidad y la organización. (Diré algo más sobre esta conjetura en el capítulo 8.) Sin embargo, a primera vista parece que son muchos los factores contingentes (políticos, religiosos, económicos y sociales) que intervinieron en el desarrollo del método científico moderno. A lo mejor la historia no es más que una serie de accidentes aleatorios e impredecibles, uno de los cuales fue la feliz conjunción de la filosofía griega y el monoteísmo en la Europa medieval. Si descubrimos una civilización extraterrestre que ha encontrado la ciencia, sería un indicio fuerte de que, en efecto, existen leyes universales de organización social e intelectual, igual que hay leyes universales de la física. Pero sin una buena razón para creer en tales leyes, la afirmación popular de que «la ciencia es inevitable» se me antoja desprovista de fundamento.

La ecuación de Drake

Una buena manera de resumir lo que venimos discutiendo consiste en recoger los diversos factores que de forma colectiva determinan el número esperado de civilizaciones con capacidad de comunicación que existen en este momento en algún lugar de nuestra galaxia. El resultado es lo que se conoce como «ecuación de Drake», pues fue Drake quien la propuso en 1961 (véase la figura 5). No es tanto una ecuación en el sentido matemático convencional como una forma de cuantificar nuestra ignorancia. Pasaré por alto la norma habitual de la divulgación científica que no permite bajo ninguna circunstancia más ecuaciones que $E=mc^2$, puesto que, de todos modos, la ecuación de Drake no es una auténtica ecuación. Así que aquí está:

$$N = R^* f_p n_e f_l f_i f_c L$$

¿Qué significan todos estos símbolos? Veamos sus definiciones una a una:

- R^* = tasa de formación de estrellas como el Sol en la galaxia
- f_p = fracción de esas estrellas que tiene planetas
- n_e = número medio de planetas como la Tierra en cada sistema planetario
- f_l = fracción de esos planetas en los que surge la vida
- f_i = fracción de planetas con vida en los que emerge la inteligencia
- f_c = fracción de esos planetas en los que se desarrolla una civilización tecnológica con la capacidad para comunicarse
- L = tiempo medio de duración de una civilización con capacidad de comunicación

El número N en el lado izquierdo de la ecuación representa el número de civilizaciones «radio-activas» en la galaxia. Como el SETI tradicional se centra en las señales de radio, lo que cuenta como civilización con capacidad de comunicación en la ecuación de Drake son simplemente aquellas que poseen radiotecnología. Quizá haya mejores maneras de enviar señales por el espacio, o tal vez haya civilizaciones avanzadas que prefieran no emitir comunicaciones de largo alcance, sea por radio o por otros medios. En cualquier caso, si las hay, no podremos detectarlas con radiotelescopios.

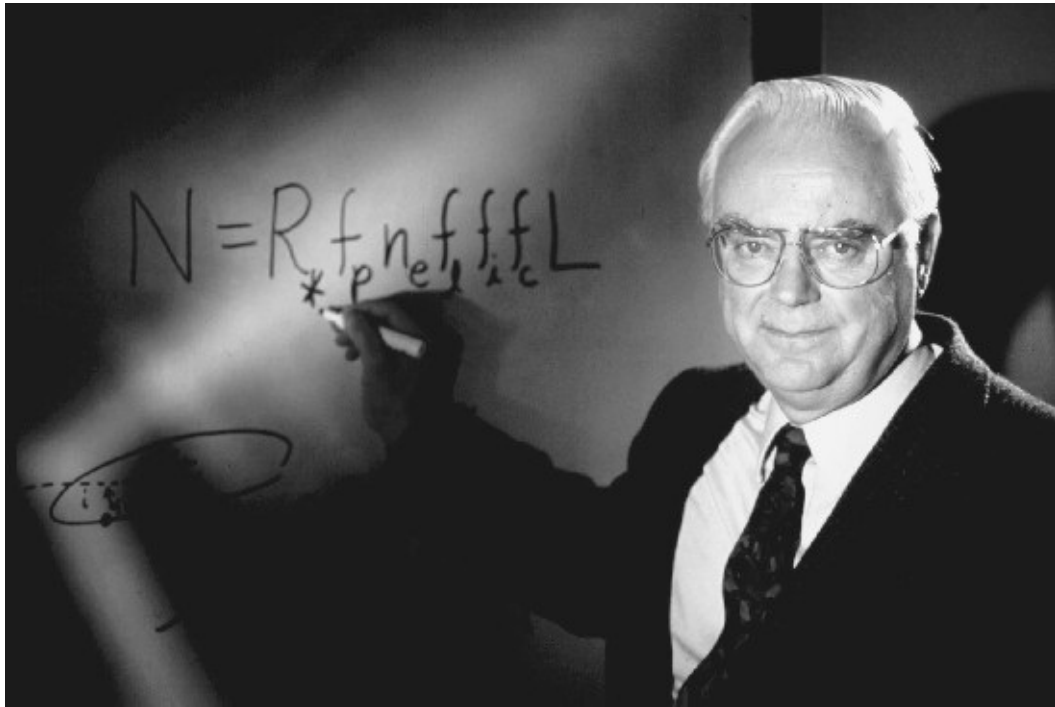


FIGURA 5. Frank Drake y su ecuación epónima.

Los símbolos del lado derecho de la ecuación de Drake son cantidades que necesitamos para poder estimar, o más bien conjeturar con la mejor información disponible, el número N . Veámoslos uno a uno.

El primer término, R^* , es la tasa de estrellas como el Sol que nacen cada año en nuestra galaxia. ¿Por qué sólo en nuestra galaxia? La razón es que recibir señales de radio de más allá de la Vía Láctea es extremadamente improbable, a causa de las enormes distancias implicadas, aunque desde luego no es imposible. En cualquier caso, quedémonos por el momento con la restricción. El número *total* acumulado de estrellas del tipo del Sol que existen en la actualidad en nuestra galaxia es bastante bien conocido por los astrónomos (simplemente apuntando con el telescopio, contando, y reescalando las observaciones al total de la galaxia con métodos estadísticos simples). La respuesta es alrededor de 10.000 millones, dependiendo un poco de en qué medida tiene que parecerse una estrella al Sol para sostener la vida. Pero este número no es fijo: las estrellas nacen y mueren, y así ha sido desde que la Vía Láctea comenzó a formarse hace 13.000 millones de años. Por ejemplo, por término medio cada año se añaden siete nuevas estrellas a la Vía Láctea, aunque ese número ha ido cambiando durante el curso de la historia galáctica.^[4.12] Los detalles no importan. La cuestión es que la incertidumbre sobre el valor de R^* es relativamente baja.

El siguiente símbolo, f_p , es la fracción de esas estrellas que tienen planetas. Cuando se inició el SETI en la década de 1960, esta cantidad no estaba nada clara porque nadie sabía muy bien cómo se formaban los planetas. Una teoría sugería que el sistema solar se había formado a partir de materiales arrancados del Sol por el paso de una estrella, un acontecimiento sin duda poco frecuente que implicaría un valor de

f_p extraordinariamente bajo. Otra teoría suponía que los planetas estaban hechos con materia concentrada en un disco o nube de gas y polvo que giraba alrededor del proto-Sol. Drake, siempre optimista, se adhirió a esta última teoría, y estimó $f_p = 0,5$, es decir, que la mitad de las estrellas parecidas al Sol tienen planetas. Durante décadas las observaciones no ayudaron mucho, pero en la actualidad los astrónomos pueden detectar planetas en órbita alrededor de otras estrellas mediante las técnicas descritas en el capítulo 1. Las observaciones indican que la teoría de la nube es correcta y que la mayoría de las estrellas poseen planetas de uno u otro tipo. De hecho, Drake podría haber incluso subestimado este número.

En realidad, la ecuación original de Drake dejaba fuera toda una clase entera de planetas cuya importancia sólo se ha comenzado a comprender hace poco tiempo. Los análisis teóricos del movimiento planetario sugieren que las órbitas pueden desestabilizarse por la «reunión» de varios planetas, provocando la expulsión de objetos fuera del sistema estelar. En consecuencia, podría haber muchos «planetas errantes» vagando por los oscuros espacios interestelares, tal vez con su comparsa de satélites. Es muy posible que nuestro sistema solar tuviera al principio más de los ocho (o nueve) planetas que vemos hoy, y que el resto hayan sido expulsados. Un recuerdo que guardo de mi infancia es una fantasía televisa llamada *El planeta perdido*, que la BBC emitía cada dos semanas en 1954. Trataba de un viaje en una nave espacial nuclear al planeta errante Hesikos, que había entrado temporalmente en el sistema solar desde el espacio profundo. Hesikos estaba habitado por humanoides telepáticos. La historia era fascinante para un niño de ocho años, pero la idea de un planeta que vaga «perdido» por la galaxia me pareció entonces lo más flojo del argumento. Al final ha resultado que la idea no era tan extravagante. Algunos astrónomos estiman que podría haber *miles de millones* de planetas errantes vagando por la Vía Láctea, así que la ecuación de Drake tiene que modificarse para tomarlos en cuenta.^[4.13] En cualquier caso, sumando los planetas en órbita y los errantes, el total podría ser del orden de billones de planetas en nuestra galaxia.

Para que surja vida tal como la conocemos, un planeta tiene que ser «parecido a la Tierra». El factor n_e de la ecuación de Drake corresponde al número de planetas de un sistema estelar que pueden sostener vida (es decir, planetas «como la Tierra», de ahí el subíndice e , del inglés «Earth», Tierra). Drake al principio estimó en 2 el valor de n_e , es decir, un promedio de dos planetas como la Tierra en cada sistema planetario. ¿Qué nos dicen las observaciones? En el caso del sistema solar, la Tierra y Marte entrarían en la definición. Por lo que respecta a planetas extrasolares parecidos la Tierra, hasta el momento no se ha descubierto ninguno. Pero eso cambiará pronto, cuando dispongamos de los resultados de la misión Kepler. Se están proyectando otros instrumentos más ambiciosos para la búsqueda de planetas desde el espacio, y es posible que en una o dos décadas dispongamos de imágenes de otras tierras en

otras estrellas a, digamos, cincuenta años luz. Casi con certeza *hay* muchos planetas como la Tierra en la galaxia, pero se hace difícil dar un número concreto. Alrededor del 1 al 10 por ciento es mi estimación de la fracción de planetas de sistemas planetarios en órbita alrededor de estrellas como el Sol que se parecen a la Tierra al menos en la temperatura, la presión atmosférica y la gravedad en la superficie. Esta cifra es inferior a la original de Drake, pero no drásticamente inferior, y todavía nos da miles de millones de planetas parecidos a la Tierra.

A continuación viene lo más difícil. El factor f_l es el número de planetas como la Tierra en los que surge la vida. Como me he esforzado en aclarar, este número es muy incierto. Los entusiastas del SETI como Frank Drake y Carl Sagan se quedan con $f_l = 1$. Dicho de otro modo, suponen que si un planeta es como la Tierra, tarde o temprano acaba teniendo vida, o sea que se adhieren al imperativo cósmico de De Duve. Pero los escépticos como Jacques Monod escogen un valor de f_l muy cercano a cero. Si descubriéramos una biosfera en la sombra, podríamos resolver esta cuestión a favor de un número cercano a 1. Pero por el momento estamos a oscuras sobre esta cuestión.

El factor f_i , es decir, la fracción de planetas con vida en los que emerge la inteligencia, ya lo hemos discutido en este capítulo. Sagan optó por la cifra sorprendentemente optimista de 1, que implica que la inteligencia es inevitable, y aparece tarde o temprano allí donde surge la vida. Drake le asignó inicialmente un valor más moderado, pero que todavía daba pie a la esperanza: 0,01. No obstante, he hecho hincapié en la enorme incertidumbre que envuelve a este número, y lo mismo puede decirse de f_c , la fracción de planetas con vida inteligente en los que se desarrolla la ciencia y las telecomunicaciones.

¿Durante cuánto tiempo persisten las civilizaciones tecnológicas?

El último factor de la ecuación de Drake representa la duración media de una civilización con capacidad de comunicación. Para apreciar la significación de esto, imaginemos una ciudad en la que cada casa enciende y apaga sus luces durante diez segundos, una sola vez, en un momento de la noche elegido al azar para cada vivienda. Preguntémonos ahora cuál es la probabilidad de que dos de las casas de la ciudad estén encendidas al mismo tiempo. Si sólo hay unos pocos centenares de casas en la ciudad, es probable que ningún par de casas tengan las luces encendidas al mismo tiempo. Si las luces se dejaran encendidas durante un minuto en lugar de diez segundos, o si hubiera 10.000 casas en la ciudad en lugar de un centenar, las probabilidades de una iluminación simultánea serían mayores. Ahora pensemos del mismo modo en civilizaciones con capacidad de comunicación. Aparecen y desaparecen, se «encienden» para luego apagarse. En la actualidad, la civilización humana está «encendida». Lo que queremos saber es si alguien más en la galaxia está *en este mismo momento* en su fase de radiocomunicación.^[4.14] En las búsquedas por radio del SETI, no sirve de nada saber que en la Vía Láctea han existido miles de civilizaciones con capacidad de comunicación, que han desaparecido hace mucho tiempo, y con ellos sus transmisiones, o que otras miles aparecerán en un futuro lejano cuando quizá la humanidad haya desaparecido. El objetivo del SETI tradicional es adquirir compañía cósmica en *esta* época. La probabilidad de que eso ocurra depende del término L de la ecuación de Drake, la longitud del período de tiempo durante el cual una civilización extraterrestre emite señales de radio. Cuanto mayor sea el valor de L , mayor será la probabilidad de que otra civilización esté emitiendo en estos momentos.

En 1961, Drake escogió un valor de $L = 10.000$ años. A Sagan, deprimido por la estupidez humana en relación con la guerra nuclear y los daños ambientales, le pareció que 10.000 años era un poco optimista. Michael Shermer, de la Sociedad de Escépticos, estimó que las civilizaciones humanas sufren de una inestabilidad inherente y suelen llegar al colapso al cabo de apenas unos cuantos siglos.^[4.15] Algunos biólogos argumentan que la pervivencia típica de una especie de mamífero es de unos pocos millones de años, lo que establece un límite superior bastante general para la duración esperada para nuestra civilización. Por supuesto, nadie lo

sabe de cierto. Personalmente creo que todos los argumentos relacionados con L son ingenuos e irrelevantes, sobre todo el biológico. La evolución darwiniana quedó suspendida con la agricultura, y hoy ha quedado superada con el advenimiento de la medicina moderna, los derechos democráticos, la ingeniería genética y la biotecnología. La civilización humana todavía puede sucumbir a una catástrofe natural, como un impacto de asteroide o una pandemia provocada por un virus de origen animal, o como consecuencia de desastres causados por el hombre, como una guerra nuclear. Pero desde luego nada de eso es inevitable, y si sobrevivimos a los próximos siglos, es muy probable que nos mantengamos durante un tiempo indefinido. No veo ninguna razón para que, una vez establecida una civilización extraterrestre, no deba perdurar mucho tiempo, del orden de millones o decenas de millones de años o más. Así que éste es un término de la ecuación de Drake sobre el que soy más optimista que muchos expertos.

De mayor relevancia para el SETI tradicional basado en la radio es la cuestión de si la huella electromagnética de una civilización también puede perdurar mucho tiempo. La humanidad lleva emitiendo señales de radio más o menos un siglo. Nuestras emisiones más potentes provienen de radares militares. A éstos les siguen las estaciones de televisión. Durante los primeros tiempos del SETI, los científicos predecían un aumento imparable del tráfico de radio, a medida que la riqueza y la tecnología aumentarían. Pero lo que ha ocurrido es más bien lo contrario. En primer lugar, las comunicaciones de punto a punto pasaron a estar dominadas por satélites de baja potencia que dirigen sus señales hacia la superficie de la Tierra. En segundo lugar, la mayor parte de las telecomunicaciones se ha desplazado de la radio a fibras ópticas subterráneas. Si ET está monitoreando nuestro tráfico de radio, le parecerá que ha aumentado hasta un pico a finales del siglo xx para luego descender. De aquí a un siglo, es posible que apenas salgan emisiones de nuestro planeta. (Tal vez todavía se use el radar, además de la ocasional transmisión de comandos a una sonda espacial). Así que, a menos que una civilización extraterrestre siga una política deliberada de transmisión de señales de radio potentes, es del todo posible que la galaxia esté repleta de civilizaciones avanzadas que, sin embargo, carezcan de un conjunto detectable de señales de radio artificiales. Se ha estimado que si construyéramos un radiotelescopio de 100 kilómetros de diámetro, sería tan sensible que podría detectar una estación de televisión tan alejada como Sirio, de modo que no importaría si ET nos dirige o no sus mensajes. Pero si la televisión de Sirio emitiera por cable, ¡mala suerte! Intentar escuchar a una civilización bajo la suposición de que todavía utiliza la tecnología humana de la década de 1980 no parece muy buena idea. (Volveremos sobre este tema en el capítulo 5.)

Sea como fuere, y para lo que pueda servir, si adoptamos la cifra de Drake de $L = 10.000$, junto con sus estimaciones para el resto de los factores de su ecuación

epónima, se obtiene al final el resultado $N = 10.000$; es decir, debería haber en este momento en la galaxia unas 10.000 civilizaciones capaces de comunicarse entre sí (y con nosotros) mediante radiotecnología. Eso está muy bien. ¡Diez mil civilizaciones extraterrestres que emiten en este momento! Si lo supiéramos con certeza, el SETI sería una prioridad urgente. «¡Encontrémoslos!», diría todo el mundo. Pero, como ya he explicado, aunque muchos de los términos de la ecuación de Frank se conocen bastante bien, y al menos uno de ellos (L), desde mi punto de vista, está muy subestimado, la ecuación está del todo dominada por dos factores sobre los cuales apenas sabemos nada: f_l , la fracción de planetas parecidos a la Tierra en los que surge la vida, y f_i , la fracción de ellos en los que emerge la inteligencia. En mi opinión, el primero es más problemático que el segundo. Si surge la vida, la inteligencia al menos tiene una oportunidad. A lo mejor la inteligencia es, después de todo, más como las alas que como las trompas; al menos, eso no es demasiado increíble. Pero es perfectamente posible que el origen de la vida sea un accidente tan monstruoso que sólo se haya producido una vez, y esa vez sea la nuestra. En estos momentos no tenemos ninguna base científica para refutar esa posición. Hasta la fecha no hay el más mínimo indicio de que «la naturaleza favorece la vida», que hay un «principio de la vida» que dirige los turbios caldos químicos hacia la grandiosidad de la vida. Y como no tenemos la más mínima idea de *cómo* apareció la vida, a no ser que hallemos, y hasta que hallemos, una biosfera en la sombra o indicios fuertes de la existencia de vida en un planeta extrasolar, no podremos siquiera acotar f_l inventando estimaciones numéricas optimistas y pesimistas. Por lo que ahora sabemos, esa fracción podría ser cualquier número entre 0 y 1.

Los peligros de la estadística de uno

Dado que nuestra galaxia contiene alrededor de cuatrocientos mil millones de estrellas, una estimación plausible del número de planetas como la Tierra alrededor de estrellas como el Sol podría ser de mil millones. Si Monod lleva razón, sólo uno de estos planetas tiene vida. Si De Duve tiene razón, la mayoría de ellos la tienen. ¿Qué tal una posición intermedia? ¿No podría ser que nuestra galaxia contuviera, por ejemplo, un millón de planetas con vida?

Existe un argumento convincente en contra de la posición intermedia. Las «otras tierras» no están ahí durante toda una eternidad esperando a que se produzca la biología; para que surja la vida hay una ventana de oportunidad limitada. La vida tal como la conocemos requiere una estrella estable como el Sol que proporcione energía y mantenga condiciones habitables en un planeta. Pero las estrellas no pueden brillar para siempre; tarde o temprano consumen su combustible y mueren. Con 4.500 millones de años de edad, el Sol se encuentra a medio camino de su ciclo de vida completo tras haber consumido ya una buena fracción de su combustible nuclear. Transcurridos otros mil millones de años, más o menos, empezarán a dejarse sentir los efectos de la escasez de combustible, a causa de la cual comenzará a hincharse y poco a poco acabará incinerando nuestro hogar. (En la jerga de los astrónomos, comenzará a transformarse en una estrella gigante roja, una fase que presagia su muerte por colapso en una enana blanca). Historias parecidas protagonizan todas las estrellas de la galaxia. Así que si la vida aparece en un planeta en órbita alrededor de una estrella como el Sol, tendrá que hacerlo durante la ventana de oportunidad de 5.000 a 10.000 millones de años que acota el nacimiento de una estrella y su muerte por agotamiento. Suponiendo que la biogénesis se produce al azar en los planetas habitables, se producirá una dispersión estadística, un abanico de valores para la cantidad de tiempo necesario para que ocurra. Pero centrémonos en el tiempo *medio*. Si el tiempo medio es corto, si la vida surge rápida y fácilmente, habrá muchas oportunidades de que surja en muchos planetas (el punto de vista de De Duve). En cambio, si el tiempo esperado para la biogénesis es mucho mayor de 10.000 millones de años, es muy probable que la vida nunca llegue a aparecer en un planeta como la Tierra. Si lo hiciera, sería en contra de todas las probabilidades, un hecho fortuito. Expresado de forma más científica, sería una rara fluctuación, un caso atípico en la distribución estadística. En ese caso es muy posible que haya ocurrido sólo en un planeta en toda la galaxia, que sería la Tierra (el punto de vista de Monod).

Si nos ocupamos ahora del caso intermedio de que la vida aparezca, por ejemplo, en un millón de planetas en una galaxia como la nuestra, el tiempo esperado para que se produzca la biogénesis no tendría que ser ni mucho más corto ni mucho más largo que la ventana de habitabilidad típica de un planeta, digamos entre una décima parte y diez veces. ¿Es eso razonable? Pensemos en lo que implica. La duración de la ventana de habitabilidad, que está acotada por la duración de la fase de una estrella en la que se quema de una forma estable (llamémosla T_1), depende de diversos factores, como la tasa de reacciones nucleares en el núcleo de la estrella, la eficiencia con la que el calor es transportado a su superficie y la masa global de la estrella. Consideremos ahora cuánto podría tardar la vida en aparecer en un planeta como la Tierra (llamémoslo T_2). Por el momento considero únicamente la vida microbiana, no la vida inteligente. Por supuesto, no conocemos el número T_2 , pero si la posición intermedia de un millón de planetas con vida fuese correcta, el tiempo necesario para que se produzca la biogénesis sería de unos pocos miles de millones de años (es decir, comparable a T_1 , la vida media de la fase estable de una estrella media). Entonces la vida no llegaría a aparecer a tiempo en algunos planetas como la Tierra, en muchos surgiría cerca del punto medio de la ventana de oportunidad, mientras que en unos pocos comenzaría poco antes de que el planeta dejase de ser habitable. Este escenario, aunque indiscutiblemente posible, representaría sin embargo una coincidencia muy improbable. El tiempo necesario para que surja la vida a partir de la materia inerte no tiene nada que ver, a primera vista, con los factores que determinan la vida media de una estrella, como la tasa de reacciones nucleares. Por lo que vemos, la vida es un producto de procesos físicos (que implican física atómica y molecular, química y geología) muy distintos de los que tienen lugar en el interior de las estrellas. Entonces, ¿por qué habrían de poseer T_1 y T_2 los valores aproximadamente *iguales* que se necesitan para que un millón de planetas generen vida, cuando las dos escalas temporales no tienen ningún tipo de conexión causal? No hay ninguna razón obvia que impida que uno de esos números sea mucho mayor que el otro. Es posible que T_1 y T_2 tengan un valor parecido sólo por azar; en la ciencia, las coincidencias están permitidas, pero como explicación deberían ser el último recurso.^[4.16] Si rechazamos las coincidencias, la conclusión tiene que ser que la duración esperada del tiempo necesario para que surja la vida es, con una gran probabilidad, mucho menor o mucho mayor que la duración de la vida de una estrella.

Pero ¿cuál de los dos casos? Sólo podemos apoyarnos para nuestro análisis en la vida en la Tierra. Sacar conclusiones estadísticas a partir de una muestra de uno es arriesgado, lo cual no ha impedido que se haga. Carl Sagan señaló que la vida comenzó en la Tierra bastante pronto, y concluyó: «El origen de la vida debe ser un evento muy probable; en cuanto las condiciones lo permiten, ¡aparece!».^[4.17] Sagan se refería al hecho de que la Tierra estuvo sometida a un intenso bombardeo hasta

hace unos 3.800 millones de años, y de acuerdo con el registro fósil la vida ya se había establecido firmemente al cabo de unos 300 millones de años (véase la figura 6). Eso sugería a Sagan que, sea cual sea el proceso que dio lugar a la vida, fue rápido, así que podemos esperar que la vida surja con una rapidez comparable en otros planetas como la Tierra.

A lo mejor Sagan tenía razón, pero por desgracia existe una grave complicación. La razón de que la vida en la Tierra se escoja como única muestra estadística es precisamente que nosotros somos un producto de ella. La Tierra no alberga sólo vida, sino vida *inteligente*, o por lo menos lo bastante inteligente para ingeniar argumentos sobre la biogénesis. Para alcanzar ese nivel de inteligencia, la vida tiene que evolucionar hasta un grado elevado de complejidad, y tiene que hacerlo dentro de la ventana de habitabilidad de unos pocos miles de millones de años, durante la cual la combustión del Sol es estable. Algunos de los pasos cruciales a lo largo del camino incluyen la emergencia de organismos multicelulares (lo que necesitó dos mil millones de años), la evolución del sexo, la formación de sistemas nerviosos y el desarrollo de cerebros de gran tamaño. En medio se produjo un enorme número de pequeños pasos, algunos difíciles, otros fáciles. Obviamente, de no haberse producido todos esos pasos en el curso de unos pocos miles de millones de años, los humanos (o animales de inteligencia comparable) nunca habrían evolucionado hasta un nivel de complejidad suficiente para deliberar sobre cuestiones científicas. En otras palabras, la vida sobre la Tierra *tuvo* que aparecer deprisa, o de lo contrario no hubiera habido tiempo suficiente para que unos observadores inteligentes como nosotros entraran en escena antes de que el Sol se convirtiera en una gigante roja. Así que al final la pronta aparición de la vida en la Tierra podría no ser indicativa de una situación general; quizá no sea más que un conjunto atípico de acontecimientos que ha sido seleccionado para la observación y el análisis por los propios observadores que creó.

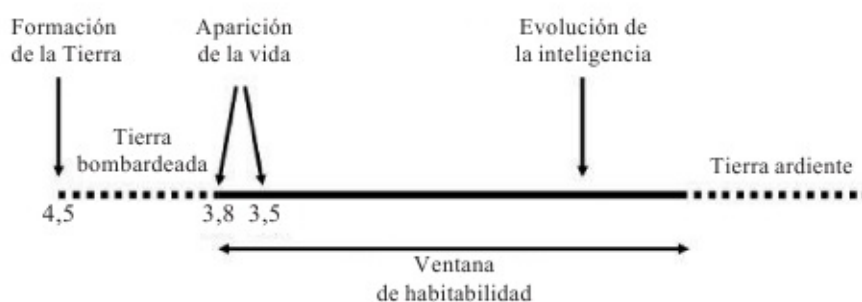


FIGURA 6. La vida se estableció en la Tierra muy pronto, una vez que las condiciones fueron apropiadas. De no haber sido así, los humanos quizá no hubiéramos surgido de su evolución antes de que se cerrase la ventana de habitabilidad, dentro de unos 800 millones de años. Los números representan miles de millones de años antes del presente.

El Gran Filtro

El argumento que acabo de esbozar *grosso modo* fue elaborado sobre fundamentos matemáticos en 1980 por el cosmólogo británico Brandon Carter,^[4.18] y refinado después por el economista Robin Hanson.^[4.19] Carter y Hanson imaginaron un gran conjunto de «experimentos» en los que la naturaleza tenía la oportunidad de producir vida inteligente, y observaron que si el tiempo esperado para que evolucione la inteligencia es mucho *menor* que la duración media de la vida de una estrella típica (digamos de apenas un millón de años), costaba entender por qué tardó miles de millones de años en recorrer todo su curso en la Tierra. Habría que defender entonces que si bien la vida inteligente es común en el universo, por alguna razón peculiar la evolución de la inteligencia en la Tierra fue de una lentitud atípica. Por otro lado, supongamos que el tiempo esperado para la evolución de la inteligencia es mucho *mayor* que la vida media de una estrella típica, y que pese a unas probabilidades tan adversas, la inteligencia *sí* evoluciona (como hizo en la Tierra); entonces lo más probable sería que el tiempo que tardaría en completarse este suceso tan improbable se acercara a la duración total permitida, es decir, la longitud de la ventana de habitabilidad. Y eso es precisamente lo que observamos: la evolución de vida inteligente en la Tierra ha «consumido» alrededor de 4.000 millones de años de los 5.000 millones que tiene la ventana de oportunidad, antes de que la Tierra acabe frita al hincharse el Sol (véase la figura 6).

Carter y Hanson lograron cuantificar esta idea de forma precisa. Aquí presento a grandes rasgos sus resultados, que se derivan directamente de la teoría de la probabilidad; el lector curioso habrá de consultar los artículos originales si le interesa la demostración. Supongamos que en el camino hacia la inteligencia se suceden varios hitos esenciales, y que cada uno de estos hitos es tan improbable que, por sí mismo, cada uno tardaría en conseguirse mucho más tiempo por término medio que la duración de la vida de una estrella típica.^[4.20] Hanson llama a esta carrera de obstáculos hacia la vida «El Gran Filtro». Supongamos que hay N hitos y que, *contra toda probabilidad*, la vida inteligente *acaba por surgir*. Entonces las ecuaciones muestran que el tiempo esperado entre cada uno de los hitos altamente improbables es de alrededor de $1/N$ partes de la ventana de habitabilidad, dejando una fracción $1/N$ adicional antes de que la ventana se cierre. He ilustrado este resultado en la figura 7. Curiosamente, los intervalos entre hitos son independientes de lo difíciles que puedan ser los hitos, con la condición de que todos sean muy difíciles. (La intuición podría

decirnos que si el hito *A* tiene una probabilidad de uno entre un millón y el hito *B*, de uno entre mil millones, entonces, en el caso de que se hayan producido los dos hitos, *A* se produciría en torno a mil veces más rápido que *B*. No es así).

¿Qué podemos decir sobre el número *N* si aplicamos el argumento de Carter-Hanson a la situación de la Tierra? Si nuestro conocimiento de la evolución del Sol es correcto, entonces (de acuerdo con las mejores estimaciones) nos quedan unos 800 millones de años antes de que nuestro planeta sea demasiado caliente para albergar vida inteligente. Eso sugiere que *N* es alrededor de 6 (la duración total de la ventana, 5.000 millones de años, dividida por el tiempo restante esperado, 800 millones). Dicho de otro modo, hubo unos seis obstáculos cruciales pero altamente improbables que fue necesario superar en la senda hacia la vida inteligente, separados en el tiempo por unos 800 millones de años. ¿Cómo se compara eso con el registro fósil? Pues lo cierto es que bastante bien. Los principales hitos improbables pueden identificarse con, en primer lugar, el propio origen de la vida; en segundo lugar, la evolución de la fotosíntesis en bacterias hace 3.500 millones de años; en tercer lugar, la emergencia de los «eucariotas» (células grandes y complejas con núcleo) hace unos 2.500 millones de años; en cuarto lugar, la reproducción sexual hace aproximadamente 1.200 millones de años; en quinto lugar, la explosión de los organismos pluricelulares de gran tamaño hace unos 600 millones de años; y, por último, el desarrollo de los homínidos de cerebro complejo en el pasado reciente. Todo esto tiene buena pinta, salvo por el primero de los hitos. Aun si consideramos que es una aproximación tosca, la vida no tardó para nada alrededor de 800 millones de años en aparecer, sino sólo unos 200-300 millones de años tras el fin del bombardeo cósmico, justo a lo que se refería Sagan cuando decía que la vida «aparecía» con una prisa casi indecente. Entonces, ¿echa por tierra este hecho anómalo todo el argumento de Carter? No del todo. Carter ha replicado que no sabemos con seguridad que la vida se haya originado en la Tierra; podría haber comenzado en Marte y haber llegado a la Tierra en el interior de rocas marcianas eyectadas, comenzando a establecerse en nuestro planeta sólo cuando el bombardeo comenzó a amainar. De tener razón, la ventana de oportunidad para la vida podría hacerse retroceder de 3.800 a 4.000 millones de años o incluso antes, porque Marte estaba preparado para la vida antes que la Tierra. Todos los hitos del Gran Filtro, incluido el primero, quedarían separados entonces de manera aproximada por los 800 millones de años que predice la teoría.^[4.21]

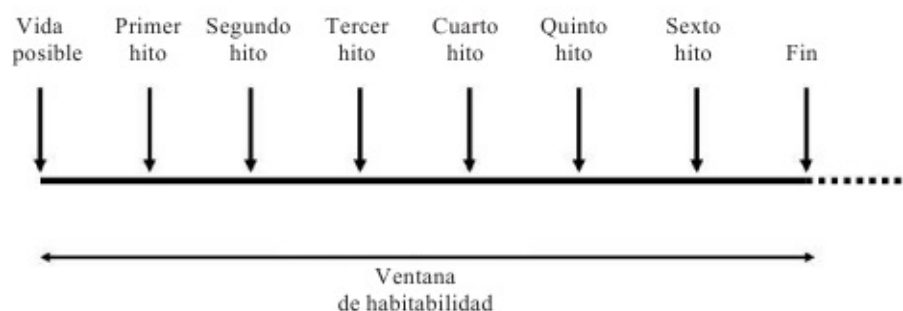


FIGURA 7. El Gran Filtro, en el caso de que hubiera seis hitos extremadamente improbables de camino a la vida inteligente, y suponiendo que, pese a lo improbable que es, la inteligencia surge antes de que se cierre la ventana de habitabilidad de varios miles de millones de años. El resultado clave, que se demuestra mediante la teoría de las probabilidades, es que las duraciones de los intervalos entre hitos son (aproximadamente) iguales, y más o menos iguales también al tiempo restante hasta el punto final, cuando se cierra la ventana de habitabilidad. Saber cuánto tiempo nos queda en la Tierra antes del fin nos sirve para fijar la duración de los intervalos y, por tanto, el número de hitos. Dejando 800 millones de años como tiempo restante, resultan seis hitos, tal como se muestra aquí. Para cada uno de los hitos se puede encontrar una transición biológica improbable plausible. Los datos se ajustan mejor si el primer hito se produce en Marte y la vida es posteriormente transferida a la Tierra.

Ya he comentado antes que el obstáculo de la inteligencia no fue fácil de superar en la Tierra: fueron necesarios más de 200 millones de años de evolución del cerebro en los animales terrestres antes de que evolucionaran los homínidos. Eso ya es bastante mal augurio. Pero el razonamiento de Carter sugiere una conclusión todavía más pesimista. Debemos recordar que el predicado de su argumento es que el tiempo promedio, o esperado, para que surja vida inteligente es muy superior incluso a los varios miles de millones de años de la ventana de habitabilidad que ofrece una estrella típica como el Sol. Así que el hecho de que la inteligencia haya tardado 200 millones de años en evolucionar en la Tierra, por lento que pueda parecernos, debe verse (según Carter) como un auténtico hecho fortuito, un caso estadísticamente atípico, un suceso que sólo con suerte ha llegado a producirse siquiera en una ventana tan corta. Lo que se sigue de esta conclusión sobre una «Tierra afortunada» es que la gran mayoría de las otras estrellas como el Sol no compartirán la buena suerte de nuestro planeta. No tendrán planetas con vida inteligente. De modo que si Carter tiene razón, la Tierra es una excepción *muy* rara, y la emergencia de seres inteligentes como los humanos es un suceso monstruoso, como defendía Monod.^[4.22]

Aunque el argumento de Carter parece despojar al SETI de toda sustancia, muchos de mis colegas recelan del razonamiento en el que se basa. Una objeción habitual es que no podemos utilizar conjeturas sobre el futuro (por ejemplo, cuánto tiempo habrá de pasar antes de que la Tierra quede abrasada) para razonar sobre el pasado. Pero esta objeción es espuria: los argumentos probabilísticos son del todo válidos aplicados tanto a sucesos pasados como futuros siempre y cuando todos los

otros factores se mantengan constantes en el tiempo. Pero supongamos que todos los otros factores no se mantienen constantes. Por ejemplo, ¿qué pasaría si catástrofes cósmicas, de la extensión de la galaxia, impidiesen la aparición de vida inteligente durante miles de millones de años, pero luego cesaran? Uno de los sucesos más violentos en el universo es un brote de rayos gamma. Estos desagradables cataclismos probablemente tengan su causa en las implosiones de estrellas masivas para formar agujeros negros, cuando dispersan una gran cantidad de energía en forma de partículas con carga eléctrica dirigidas a lo largo de pares de haces estrechos de orientación opuesta. Las partículas cargadas generan a su vez una intensa radiación gamma (fotones de alta energía) que pintan arcos en la galaxia, cual rayos cósmicos de la muerte, a medida que giran los agujeros negros. Si uno de los haces de rayos gamma pasara por un planeta, podría aniquilar toda la vida compleja de su superficie. Las explosiones de rayos gamma se observan con la ayuda de un satélite llamado Swift, que registra cientos de eventos cada año. Debieron de ser más frecuentes en el pasado, y es al menos concebible que pueden haber impedido la evolución de vida inteligente en cualquier otro lugar de la galaxia durante miles de millones de años. De ser así, quizá en condiciones ideales (es decir, sin la amenaza de rayos gamma) la vida no sea tan improbable después de todo. El hecho de que tardara tanto tiempo en evolucionar en la Tierra tendría una explicación física inmediata (nuestro planeta fue arrasado por rayos gamma), y la conclusión de Carter de que la inteligencia es extremadamente improbable incluso tras *decenas de miles de millones* de años se vería debilitada. Así que todavía no está claro lo que acabará siendo la línea de argumentación de Carter, una vez comprendamos mejor todos los factores que contribuyen a determinar lo que hace falta para que surja la vida.

¿Estamos condenados a un destino fatal?

Para acabar con la batalla de probabilidades, hay un último aspecto que debemos considerar. Si el inquietante silencio se toma como prueba *prima facie* de que estamos solos (en el sentido de que somos los únicos seres inteligentes del universo), podría ser que los pasos que conducen a la vida inteligente sean tan improbables que sólo se hayan producido una vez.^[4.23] Pero hay una segunda explicación posible para el silencio que ya he mencionado en el capítulo anterior. Tal vez la vida inteligente y las civilizaciones tecnológicas adolezcan de una inestabilidad inherente que hace que no sobrevivan el tiempo suficiente para establecer contacto unas con otras. Si ésa fuera la explicación correcta, sería un mal augurio para la humanidad, pues implicaría que si la Tierra es típica, podemos esperar acabar del mismo modo que los alienígenas, siguiendo a nuestros primos cósmicos al desierto del olvido bastante pronto o, al menos, antes de que podamos conquistar la galaxia. Desde luego no es difícil imaginar eventos potencialmente calamitosos que podrían aniquilarnos: guerra nuclear, pandemias mortíferas, impactos de cometas, desintegración social y económica...^[4.24]

¿Cómo podemos determinar cuál de las dos explicaciones del inquietante silencio es la más probable, la Tierra afortunada o el destino fatal? A falta de indicios en uno u otro sentido, ambos escenarios son igualmente plausibles. Pero nuestro estado de ignorancia podría cambiar pronto. Si el silencio es real, y no sólo el resultado de la mala suerte o de una mala estrategia de búsqueda, entonces hay algo que filtra y elimina a la mayoría de las civilizaciones tecnológicamente avanzadas, ya sea porque impide su formación o porque las aniquila poco después de que se establezcan. En el primer caso, el Gran Filtro se encuentra a nuestras espaldas, y los afortunados humanos hemos tenido la suerte de atravesarlo. En el segundo caso, el filtro se encuentra ante nosotros, como una sombra ominosa sobre nuestro futuro: quizá no tengamos tanta suerte con lo que nos espera, y seamos «filtrados» y eliminados. Supongamos que descubrimos indicios de vida fuera de la Tierra, por ejemplo a partir del hallazgo de microbios en algún otro lugar del sistema solar o de oxígeno en la atmósfera de un planeta extrasolar. De ello se seguiría que el primer paso hacia la inteligencia y la civilización tecnológica, la génesis de vida a partir de lo inerte, no es en realidad un salto altísimo e improbable. Podríamos concluir entonces que el Gran Filtro debe encontrarse *más tarde* del primer hito, una conclusión que serviría para inclinar la balanza en el sentido de que se encuentra en el futuro de la emergencia de

la inteligencia, aumentando las probabilidades de un apocalipsis humano inminente. La situación resultaría aun más sombría si descubriésemos no sólo vida primitiva fuera de la Tierra, sino formas de vida más complejas, pues entonces se revelarían como probables, en lugar de improbables, otros hitos en el camino hacia la inteligencia. Se debilitaría así aún más el caso a favor de que el Gran Filtro se encuentra en el pasado de la vida inteligente, y se vería reforzada la probabilidad de un futuro peligroso para la inteligencia. En resumen, si la vida es un imperativo cósmico, el gran silencio es sin duda un silencio inquietante, siniestro incluso por lo que respecta al futuro de la humanidad. Si ET no está ahí afuera, mejor será que *tampoco* haya vida ahí afuera. Nick Bostrom, un filósofo de la Universidad de Oxford, no se anda con chiquitas: «Sería una buena noticia que descubriéramos que Marte es completamente estéril. Las rocas muertas y las arenas sin vida me subirían la moral... Sería la promesa de que un gran futuro para la humanidad es posible».

[4.25]

En 1979 me pidieron que escribiera un guión para el actor Dudley Moore, que representaba el papel de un desconcertado estudiante en un documental de la BBC titulado *It's About Time*. La narración se iniciaba con la célebre paradoja del gran filósofo griego Zenón, según la cual una flecha nunca podría alcanzar una diana que se va alejando por la siguiente razón. En cuanto la flecha llega al lugar que ocupaba la diana cuando se soltó la cuerda del arco, la diana se habrá movido un poco. Y cuando la flecha llegue a la nueva posición, la diana se habrá movido un poco más, y así sucesivamente hasta el infinito. La versión televisiva mostraba a Dudley Moore corriendo para alejarse del arquero, sólo para caer plano alcanzado en la espalda por la flecha, momento en el cual el narrador comentaba irónicamente: «¡Fíate de la filosofía!». Los argumentos filosóficos que he presentado en este capítulo, por interesantes que parezcan, no son un sustituto de los datos empíricos. Se coligan las más grandiosas conclusiones cósmicas a partir de los datos más magros, y no tienen más valor que las suposiciones sobre las que se asientan. Mientras no dispongamos de indicios científicos concretos de la existencia de vida fuera de la Tierra, no podemos hacer mucho más. Pero SETI es fundamentalmente un programa basado en experimentos y observaciones, no un ejercicio de filosofía y estadística. Un solo hallazgo, igual que un solo disparo de una flecha, puede tumbar en un instante siglos de presupuestos filosóficos. Un silencio inquietante no es razón suficiente para abandonar la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Al contrario, nos ofrece una razón convincente para ampliarla.

**EL NUEVO SETI:
AMPLIANDO LA BÚSQUEDA**

Visión es el arte de ver aquello que para otros es invisible.

Jonathan Swift

No saben que estamos aquí

El enfoque que tradicionalmente ha seguido el SETI se basa en la creencia de que hay civilizaciones extraterrestres que dirigen hacia la Tierra mensajes de radio de banda estrecha. En mi opinión, sin embargo, este «dogma central» sencillamente no resulta creíble. La razón tiene que ver con la velocidad finita de la luz, y con el hecho de que ninguna señal o efecto físico puede propagarse más deprisa. Este límite absoluto de la velocidad es una ley fundamental de la física relacionada con la naturaleza del espacio y del tiempo. A no ser que nuestro conocimiento de la física esté muy equivocado (en cuyo caso, buena parte de la discusión sobre el SETI sería incierta), no tenemos más remedio que acomodarnos a esta restricción. Para apreciar sus implicaciones, imaginemos una civilización alienígena situada a 1.000 años luz de distancia, lo cual es cerca incluso para los más optimistas del SETI, y supongamos que los alienígenas poseen una tecnología tan potente que pueden observar la Tierra con todo detalle. ¿Qué es lo que verían? A nosotros desde luego que no. No verán nuestros radiotelescopios ni nuestros aceleradores de partículas, ni cohetes, ni siquiera carreteras. Lo que verían es la Tierra alrededor del año 1010 de nuestra era. Esa fecha es muy anterior a la Revolución Industrial; el no va más de la tecnología humana era el reloj. Los alienígenas tal vez vieran las pirámides de Egipto y la Gran Muralla de China. Observarían ciudades y signos de la agricultura, pero eso queda muy lejos de la tecnología de las telecomunicaciones interestelares. El hecho de que los humanos hubieran desarrollado la arquitectura y la agricultura podría parecerles prometedor, pero de buen seguro no garantizaría la aparición de radiotelescopios 1.000 años más tarde (a diferencia de unos 5.000 años, o 50.000 años). Por consiguiente, no hallarían ninguna razón para comenzar a transmitir señales de radio hacia nosotros en el año 1010 de nuestra era. Sería mejor para ellos esperar hasta saber con certeza que poseemos los medios para recibir las señales antes de molestarse en enviarlas.

Entonces, ¿cómo sabrán los alienígenas cuándo estamos listos para recibir sus mensajes? Pues cuando *nuestras* primeras señales de radio los alcancen a *ellos*. La radiotecnología humana no tiene mucho más de cien años. Cuando hayan transcurrido unos 900 años más, esas primeras y débiles señales alcanzarán a esa imaginaria civilización cercana, y si los alienígenas estuviesen escuchándonos de manera continua con equipos *muy* sensibles, y si responden muy deprisa, tal vez pudiéramos recibir sus primeros mensajes justo antes de que comience el quinto

milenio. No hay manera de eludir esa demora. En «su» universo (es decir, desde la perspectiva retrasada en el tiempo de los alienígenas) los radioastrónomos humanos sencillamente todavía no existen. A no ser que puedan ver el futuro, no habría en la Tierra ninguna civilización tecnológica a la que poder dirigir sus señales, y no la habría durante 900 años más. Si la civilización extraterrestre está aún más lejos, por ejemplo a 10.000 años luz, la espera es todavía más larga. El resultado es que el SETI tradicional, que consiste en explorar el espacio con radiotelescopios en busca de un mensaje proveniente de unos alienígenas, quizá sea muy buena idea, pero la estamos poniendo en práctica demasiado pronto, con milenios de antelación. Lo único que podría salvarnos sería una presencia alienígena mucho más cercana, a menos de cincuenta años luz. Eso sería sorprendente, pero ¿quién sabe? No obstante, los astrónomos del SETI han examinado todos los sistemas estelares candidatos hasta esa distancia sin encontrar nada.

Esta discusión, aunque deprimente, no es un argumento contra una estrategia más amplia para el SETI; simplemente pone de manifiesto la futilidad de buscar mensajes dirigidos de manera deliberada a la civilización humana desde una fuente muy lejana. Es concebible que una búsqueda de radio por el firmamento intercepte mensajes de radio alienígenas dirigidos a otra civilización que resulte estar situada en nuestra misma línea de visión, un mensaje que por casualidad se transmitió hace mucho tiempo y cruza nuestra proximidad astronómica justo en este momento. Obviamente, eso es una posibilidad remota. Otra es la posibilidad de que haya civilizaciones extraterrestres que emiten mensajes de forma continua e indiscriminada hacia toda la galaxia, una especie de equivalente galáctico del BBC World Service. Pero eso requeriría un transmisor de una potencia tremenda, así como un grado de determinación y altruismo que no tenemos derecho a esperar.

Otra idea improbable que intentan vender los investigadores del SETI es la posibilidad de escuchar el tráfico de radio de consumo propio que escape de otro planeta. Nuestras propias estaciones de radio y televisión emiten a frecuencias mucho menores que las que busca el SETI, normalmente en el intervalo de 50-400 MHz. (El proyecto SETI se centra en una banda de frecuencia amplia, pero en el intervalo de 1-2 GHz). Sin embargo, se está empezando a construir una nueva clase de instrumentos de radio que cubrirán bien la zona de los MHz, y con una sensibilidad sin precedentes. En Europa ya casi se ha terminado un sistema llamado LOFAR, siglas en inglés de Matriz de Baja Frecuencia. Este sistema está formado por 25.000 pequeños discos situados en varios países, conectados electrónicamente de manera que los datos puedan combinarse digitalmente. En lugar de saltar de una a otra fuente, LOFAR tiene la capacidad de explorar grandes secciones del firmamento durante meses, aumentando así la probabilidad de detectar una señal continua pero débil. El objetivo principal de LOFAR es estudiar el final de la llamada edad oscura del

universo, el período inmediatamente anterior a la formación de las primeras estrellas. Como el universo se ha expandido enormemente desde esa época (hace unos 13.000 millones de años), la longitud de onda de las emisiones electromagnéticas se ha alargado, de manera que en el extremo receptor (la Tierra) muchas de las fuentes más interesantes tendrán frecuencias desplazadas a valores más bajos, del orden de los MHz. LOFAR no es el único sistema de este tipo. Hay otro más ambicioso, con un concepto y un propósito similares, llamado Matriz del Kilómetro Cuadrado (o SKA, en sus siglas en inglés), que se planea construir en Australia Occidental o en el sudoeste de África, dos lugares poco contaminados por emisiones de radio. Como su nombre indica, este conjunto de discos ocupará un área total de un kilómetro cuadrado. Mientras estos instrumentos altamente sensibles se dedican a sus quehaceres astronómicos cotidianos, los investigadores del SETI podrán aprovechar sus lecturas sin perturbar su cometido principal.

Pero por beneficiosa que pueda ser para el SETI esta nueva generación de radiotelescopios, no parece que LOFAR o SKA estén a la altura del reto de escuchar a los alienígenas, a no ser que tengamos mucha suerte. Pese a su inmenso tamaño, estos instrumentos no podrían detectar una estación de televisión de la potencia que tienen las de la Tierra aunque estuviera en órbita alrededor de la estrella más cercana. Pero hay un atisbo de esperanza. Abraham Loeb, de la Universidad de Harvard, ha estimado que un transmisor de la potencia de la televisión terrestre *podría* ser detectado por el sistema SKA hasta una distancia de varios años luz si se acumularan observaciones de forma continuada durante un mes, siempre y cuando se halle la manera de filtrar las interferencias terrestres en la misma longitud de onda.^[5.1] Aunque ese intervalo de distancias comprende muchas estrellas, no llega a salir de nuestro vecindario astronómico. No hay esperanza de detectar una estación de televisión a una distancia de, digamos, 1.000 años luz, a no ser que sus transmisiones fuesen mucho más potentes que sus análogos terrestres.^[5.2] Y hay aún un problema mayor, ya mencionado en el capítulo 1. Es probable que las emisiones de radio de alta potencia no sean más que una moda efímera entre las civilizaciones emergentes, si es que en esto la experiencia humana nos sirve de guía. Casi todos nuestros canales de televisión transmiten en la actualidad por medio de cables de fibra óptica. Es muy posible que de aquí a unas pocas décadas la Tierra sea casi del todo silenciosa por lo que respecta a la radio, sin que apenas se filtren emisiones hacia el espacio. No obstante, una civilización extraterrestre muy antigua podría tener sus propias razones para proseguir las emisiones de radio en su planeta, así que todavía tiene sentido que el SETI utilice los sistemas LOFAR y SKA en su búsqueda.

Más allá del fotón

Tanto las señales de radio como las de láser son electromagnéticas, o sea que utilizan fotones para transmitir los mensajes. Sin embargo, al menos en principio cualquier cosa que vaya de *A* a *B* podría utilizarse para codificar una señal, así que una estrategia más amplia del SETI debería considerar la posibilidad de que los extraterrestres transmitan señales de algún otro modo. Uno de los problemas técnicos que tiene que abordar cualquier medio de transmisión de señales es que, si *A* y *B* están a muchos años luz de distancia, es posible que por el camino haya alguna materia que oscurezca la señal, como gas o polvo. Esto es especialmente probable en el plano de la galaxia, donde el polvo es conspicuo en forma de estrías oscuras que se extienden por toda la Vía Láctea. La radio y el láser tienen la ventaja de que para ellas, a ciertas longitudes de onda, este material es transparente. No obstante, algo con un poder de penetración mayor que los fotones podría funcionar mejor para enviar mensajes interestelares. Una posibilidad son los neutrinos, famosos por su extraordinaria capacidad para atravesar la materia. La pega es que también tienden a atravesar los receptores. Si ET utiliza haces de neutrinos para enviar mensajes, ya empezamos a hacer progresos para detectarlos.

Durante muchos años los neutrinos estaban confinados a la teoría, porque no disponíamos de equipos lo bastante sensibles para registrarlos. Todo eso cambió en la década de 1950, cuando por fin lograron detectarse los intensos flujos de neutrinos que emanaban de los reactores nucleares. Aunque su interacción con la materia es extremadamente débil, de vez en cuando un neutrino choca con un núcleo produciendo una transmutación detectable. Pero la probabilidad de que eso ocurra es ínfima: billones de neutrinos pasan de largo por cada uno que colisiona. En la actualidad, la física de los neutrinos está muy avanzada. Por ejemplo, se pueden generar haces de neutrinos en laboratorios de aceleradores de partículas, lanzarlos a través de la Tierra y detectarlos con instrumentos situados a miles de kilómetros de distancia. Se están construyendo enormes detectores consistentes en volúmenes de agua ultrapura (o de hielo) de un kilómetro de ancho, que emiten minúsculos destellos de luz cuando los neutrinos chocan con núcleos y crean partículas cargadas de gran velocidad. Los destellos se amplifican y registran por medio de equipos muy sensibles. Los físicos están construyendo detectores en la Antártida, bajo el Mediterráneo y en el lago Baikal de Siberia, con la intención de explorar el universo con «ojos de neutrino». Se espera detectar ráfagas de neutrinos en supernovas,

agujeros negros y, posiblemente, en procesos de la materia oscura. Así que, a pesar de las dificultades, los humanos poseemos detectores que en principio podrían captar un mensaje alienígena codificado en un haz de neutrinos.

La transmisión de señales con neutrinos ha sido estudiada por Anthony Zee, del Instituto de Física Teórica de la Universidad de California en Santa Bárbara, y sus colaboradores,^[5.3] quienes sugieren que los extraterrestres optarían por utilizar energías de neutrinos muy por encima de las generadas de manera natural por el Sol y las estrellas. Como llegan muy pocos neutrinos energéticos de cualquier dirección específica del espacio, un haz de neutrinos de alta energía que pasara por nosotros sería muy llamativo. Vale la pena comparar esto con las ondas de radio energéticas, que son generadas por muchas fuentes astronómicas compactas; usando la radio, ET compite con todo el cosmos. Zee cree que los alienígenas podrían utilizar un acelerador de partículas para hacer colisionar y aniquilar los electrones y sus antipartículas (positrones), y hacer de este modo un estrecho haz de neutrinos que puede dirigirse a voluntad. Ésta es una técnica conocida y bien probada por los físicos terrestres, pero los alienígenas tendrían que hacerlo con una energía mucho más alta, con la ventaja de que cuanto mayor sea la energía, más fácil sería detectar los neutrinos. Lo mejor sería una energía a la que los neutrinos transmitidos reaccionen con especial fuerza con los núcleos atómicos, dispersando unas partículas que los físicos conocen como bosones W . (Para los lectores interesados en aspectos técnicos, esta energía es de 6,3 PeV). Si detectáramos bosones W generados de este modo, no hay duda de que nos llamaría la atención. Para codificar un mensaje, todo lo que tiene que hacer ET es usar un código como el Morse. Debe admitirse que la tasa de transferencia de datos sería patética, pero como explico en un momento, eso quizá no sea muy importante.

Balizas

Todo el mundo sabe lo que es un ordenador, pero pocos saben quién lo inventó. Quizá les sorprenda saber que el diseño básico de la máquina universal de computación fue concebido ya a mediados del siglo XIX por un excéntrico genio británico llamado Charles Babbage. Por desgracia, su ingenio mecánico de cálculo, la Máquina Analítica, nunca llegó a acabarse, aunque una réplica de su precursor, la Máquina Diferencial, fue construida y accionada por el Museo de las Ciencias de Londres en 1991, con ocasión el bicentenario de Babbage.

Entre las muchas otras invenciones y logros de Babbage se cuenta el ya familiar sistema de señalización utilizado por faros y balizas. El principio es la simplicidad misma: un haz de luz barre un círculo en un plano horizontal, de manera que desde cualquier punto fijo se ve como uno o dos destellos en cada tránsito. La señal no se dirige a nadie en particular, pero quienquiera que navegue a la vista del faro, la notará. La señal comunica el mensaje: «Peligro: navegue con cuidado». Y también: «Aquí hay alguien». Eso es todo: poco contenido de información, pero un enorme significado, al menos para los marineros.^[5.4] ¿Es posible que una civilización alienígena avanzada haya construido una baliza parecida que barra la galaxia?

Históricamente, la idea de enviar señales entre planetas con balizas precede en casi un siglo al sistema de radio del SETI. En 1802 el genio matemático Karl Friedrich Gauss sugirió la creación de grandes formas en el bosque siberiano para atraer la atención de los marcianos y hacerles saber sobre nuestra inteligencia. Su idea era talar el bosque y plantar trigo en su interior, de forma que se visualizara el famoso teorema geométrico de Pitágoras. Más tarde, Percival Lowell concibió algo parecido: canales en el Sáhara llenos de petróleo, que podría encenderse por la noche. Una variante del tema de la «geometría a gran tamaño» es la propuesta por el inventor y constructor de telescopios Robert Wood, quien escribió al *New York Times* para proponer que se hiciera una gran mancha negra con tiras de tela, que podrían enrollarse y desenrollarse periódicamente, logrando así que la mancha aparezca y desaparezca a la vista de los marcianos, ¡como un guiño! Todas estas primeras propuestas carecían de la amplificación y el alcance necesarios para funcionar más allá de los confines de un único sistema planetario. Pero con el desarrollo de la radio y el láser de alta potencia, se abrieron las puertas a la construcción de una baliza que pudiera enviar señales no ya por el espacio interplanetario, sino por el interestelar.^[5.5]

La posibilidad de que unas civilizaciones extraterrestres hayan creado hace

mucho tiempo unas potentes balizas de radio, y que los humanos poseamos los medios para detectarlas, ha sido estudiada con todo detalle por Greg y Jim Benford, unos físicos gemelos que trabajan en California. Greg es astrofísico, además de un reconocido escritor de ciencia ficción, mientras que Jim es experto en la tecnología de haces de microondas de alta intensidad. A decir de los Benford, las antiguas civilizaciones podrían haber tenido muchas razones para construir una baliza; por ejemplo, podría ser un monumento de orgullo por la alta tecnología de una civilización gloriosa y quizá desaparecida hace ya mucho tiempo. Una baliza también es una fantástica manera de atraer la atención para establecer un primer contacto: cualquiera que la detectase redoblaría sus esfuerzos en el SETI. Es posible que se tratase de un símbolo artístico, cultural o religioso, o incluso un equivalente cósmico del grafiti. Puede ser un grito de ayuda o, como en el humilde faro, una advertencia.

Los Benford han calculado los requisitos para las balizas de microondas (en lugar de ópticas), que funcionan emitiendo pulsos intensos de corta duración, como un «ping». Como es obvio, se necesita mucha menos energía para emitir un ping esporádico que una corriente continua de señales. Aunque los pulsos son moderadamente difíciles de detectar, son bastante más fáciles de transmitir (aunque una baliza de alcance galáctico todavía queda fuera de las posibilidades de la tecnología humana). La suposición de partida de los cálculos de los Benford es que el coste por pulso viene determinado por la física fundamental, que limita a los extraterrestres del mismo modo que a nosotros; cabe suponer que ni siquiera una supercivilización despilfarraría los recursos.^[5.6] De modo que los Benford han analizado el problema, en sus propias palabras, «desde el punto de vista de los que ponen el dinero», y han hecho una lista de las características que creen que debería tener una baliza de pulsos, teniendo en cuenta la inversión de capital en la construcción de la antena y los costes operativos de su uso.^[5.7] La eficiencia es mayor a frecuencias altas, así que sugieren 10 GHz como el punto óptimo; por encima de este nivel, interfiere el ruido de la radiación de fondo de la galaxia. Hasta el momento, la mayoría de las observaciones de SETI se han concentrado en una banda mucho más estrecha, alrededor de 1 o 2 GHz. Existe un compromiso entre la duración de cada pulso y el tiempo de demora entre pulsos. Un buen compromiso sería una ráfaga de alrededor de un segundo de duración más o menos una vez al año.

En contraste con la diana clásica del SETI (una señal de banda estrecha y continua a una frecuencia específica), una baliza se extendería por un intervalo de frecuencias en forma de un breve «blip», o quizá algo más llamativo, como «blip blip». El caso es que a lo largo de la historia del SETI se han registrado muchos blips, pero no se han examinado a fondo por una buena razón. Como hemos visto en el capítulo 1, el procedimiento que se sigue cuando un telescopio detecta algo extraño consiste en mover la antena fuera del objetivo, para asegurarse de que la señal se

desvanece (con lo que se elimina la posibilidad de un error de funcionamiento del equipo), y luego desplazarla de vuelta al objetivo. Si la señal sigue ahí la segunda vez, se requiere la participación de un segundo radiotelescopio, de preferencia situado a gran distancia, para confirmar que la fuente es realmente astronómica (y no, por ejemplo, un teléfono móvil en la vecindad). Todo esto supone que la misteriosa señal seguirá emitiéndose durante un tiempo suficiente para completar el procedimiento de comprobación, lo que en la práctica puede llevar varias horas. Si un telescopio detecta un pulso momentáneo (que desaparece enseguida), el procedimiento de comprobación no es posible.^[5.8]

Hay un célebre pulso misterioso que ha recibido el adecuado nombre de señal «Wow!», detectado el 15 de agosto de 1977 por Jerry Ehman con el radiotelescopio Big Ear de la Universidad Estatal de Ohio. La señal duró setenta y dos segundos (un pulso bastante largo), y nunca más ha vuelto a detectarse. Ehman lo descubrió mientras hojeaba la impresión de la computadora, y, embargado por la emoción, escribió «Wow!» en el margen (véase la figura 8). La señal nunca ha podido explicarse de forma satisfactoria como un fenómeno natural o generado por los humanos. Otro evento transitorio sobre el que se ha hablado mucho es un intenso pulso de medio milisegundo conocido como pulso de Lorimer, detectado cerca de la Nube Pequeña de Magallanes por el radiotelescopio Parkes de Australia (véase la lámina 10). Fue hallado por David Narkevic, un estudiante universitario que ayudaba a David Lorimer, de la Universidad de Virginia Occidental. Lorimer no estaba buscando a ET, sino objetos astronómicos llamados púlsares. El pulso enigmático fue descubierto mucho después de ser recibido, sepultado entre los datos recogidos durante una búsqueda rutinaria. Nunca se ha vuelto a detectar nada parecido en esa parte del firmamento. No existe consenso sobre su fuente, aunque parece provenir de un lugar muy lejano, mucho más allá de los confines de nuestra galaxia. La mejor de las conjeturas le atribuye como causa algún tipo de violento suceso asociado a un agujero negro.



LÁMINA 10. El radiotelescopio de Parkes en Nueva Gales del Sur (Australia) ha estado en la vanguardia de las investigaciones del SETI. Es uno de los radiotelescopios más potentes del mundo, y fue utilizado para transmitir los primeros pasos sobre la Luna, un acontecimiento que ha hecho célebre la película *La Luna en directo*.

Otra fuente posible de pulsos de radio es la explosión de agujeros negros. En 1975, Stephen Hawking predijo que los agujeros negros no son negros en realidad, sino que irradian calor y, a consecuencia de la pérdida de energía, reducen su tamaño hasta evaporarse completamente. Como la temperatura del agujero negro aumenta a medida que el objeto reduce su tamaño, la evaporación es un proceso desenfrenado que culmina en un frenético estallido final de partículas de alta energía, muchas de las cuales tienen carga eléctrica. Si esta explosión terminal se produce dentro de un campo magnético, por ejemplo el de una galaxia, las partículas cargadas crean un pulso electromagnético breve pero intenso.^[5.9] Sin embargo, la búsqueda directa de explosiones de agujeros negros con radiotelescopios todavía no ha producido ningún resultado.

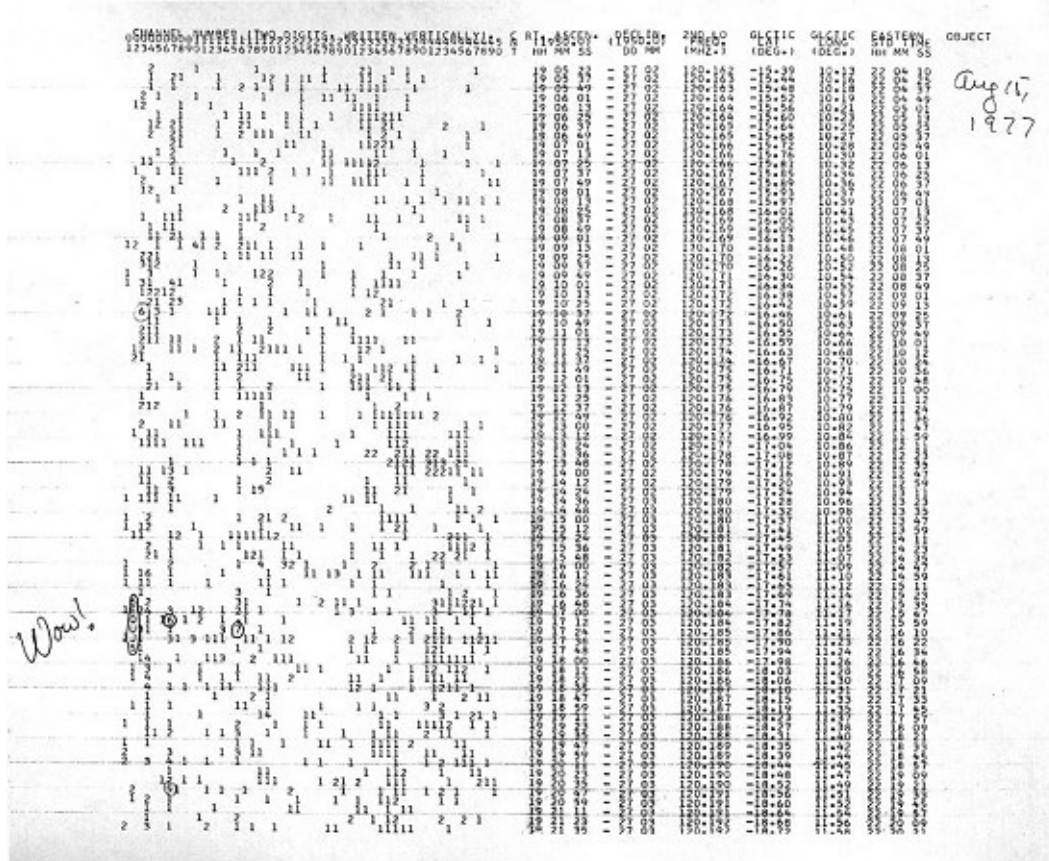


FIGURA 8. Listado de los datos donde se muestra la anotación «Wow!».

Para el SETI el reto consiste en discriminar entre un pulso artificial y uno natural. Si una civilización alienígena quisiera usar pulsos para atraer la atención, tendría que dotarlos con alguna característica de inteligencia, por ejemplo la transmisión simultánea centrada en varios canales de radio a frecuencias que sigan una pauta aritmética detectable. Los sistemas actuales del SETI no están bien adaptados para detectar ese tipo de señales, porque tanto la maquinaria como los programas de análisis de los datos están diseñados fundamentalmente para fuentes continuas de banda estrecha. Sin embargo, no hay ningún obstáculo fundamental que impida llevar a cabo una búsqueda de pulsos; la cuestión se reduce a obtener los recursos. Buscar eventos transitorios requiere el seguimiento continuo de una sección del firmamento, digamos que durante todo un año, pues aun cuando pudiéramos hacer conjeturas razonables sobre *dónde* en el espacio podría encontrarse la baliza, no sabríamos *cuándo* volvería a emitir un pulso. Actualmente se está llevando a cabo un proyecto piloto de búsqueda de pulsos de milisegundos en la Matriz de Telescopios de Allen, para lo cual se utiliza un sistema llamado Fly's Eye («ojo de mosca»), operado por la Universidad de California en Berkeley. En la configuración empleada, cada uno de los cuarenta y cuatro discos actualmente operativos apunta hacia un lugar distinto del espacio, ofreciendo una cobertura total muy amplia. Por desgracia, como la apertura de los discos es de sólo 6 metros, su sensibilidad es muy limitada. Otra de las búsquedas dedicadas a este propósito, conocida como Astropulse, se lleva a cabo en el mayor radiotelescopio del mundo, situado en Arecibo (Puerto Rico), que es desde

hace tiempo uno de los principales instrumentos de trabajo del SETI, hecho célebre por películas como *Contact* y *GoldenEye* (véase la lámina 11). Aunque este instrumento tiene mucha más sensibilidad, tiene un campo de visión muy pequeño. Pero estos proyectos no son más que un comienzo; la búsqueda seria de balizas extraterrestres sigue atascada en la fase de planificación.



LÁMINA 11. El radiotelescopio de Arecibo es el mayor del mundo, pero no es dirigible, de modo que sólo puede observar una sección limitada del espacio. Durante años ha sido utilizado de forma intermitente por el SETI.

Estrechando la búsqueda

I nicié este capítulo con el ruego de que se amplíe la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Pero una aproximación sin un enfoque claro es poco probable que nos lleve al éxito, dada la naturaleza de la empresa, que recuerda la búsqueda de una aguja en un pajar. En el caso de las balizas, la tarea se hace menos onerosa si los esfuerzos se concentran en las regiones de la galaxia donde hay más estrellas. La estructura de la Vía Láctea recuerda un disco plano del que salen unos brazos en espiral; en uno de esos brazos se encuentra nuestro sistema solar. Las regiones exteriores de la galaxia están poco pobladas y son pobres en elementos pesados como el carbono, esencial para la vida. Es en las regiones interiores donde se encuentran la mayoría de las estrellas, y en especial las más viejas, las que con mayor probabilidad pueden albergar civilizaciones antiguas, así que la mayor esperanza de detectar una baliza se encuentra en la dirección de Sagitario, donde se localiza el centro de la galaxia.^[5.10]

La dirección radial es sólo la mitad de la historia. ¿Qué hay de la habitabilidad en función de la distancia «por encima» o «por debajo» del plano galáctico? Ésta es una cuestión más complicada, porque las estrellas migran arriba y abajo en dirección transversal en su órbita por la galaxia. El Sol, por ejemplo, realiza una de estas oscilaciones cada 62 millones de años, lo que llega a alejarlo unos 230 años luz respecto al plano. Hace unos pocos años, dos físicos de Berkeley, Richard Muller y Robert Rohde, realizaron un sorprendente descubrimiento al examinar el registro fósil de la vida marina durante los últimos 542 millones de años.^[5.11] Es bien sabido que la abundancia de vida en la Tierra sufre abruptas variaciones a causa de las extinciones en masa. Hay muchas teorías sobre el porqué de estas espeluznantes exterminaciones; por ejemplo, impactos cósmicos, supernovas, vulcanismo desbocado. Lo que Muller y Rhode descubrieron fue un ciclo muy marcado de 62 millones de años en la pauta de extinciones marinas, con un pico en la tasa de extinción que se correspondía con el momento en que el sistema solar se hallaba a la máxima distancia del plano galáctico en la dirección del norte (galáctico) y que era menor cuando se hallaba en el sur. Sus análisis sugieren la presencia de algo nefasto más allá del margen septentrional de la galaxia. ¿Qué podría ser, y por qué no se encuentra tanto al norte como al sur? (En ese caso, el ciclo sería de 31 millones de años, no 62.)

Una respuesta interesante es la propuesta por dos astrofísicos de la Universidad de Kansas, Mikhail Medvedev y Adrian Melott.^[5.12] Estos investigadores señalan que

si bien el brillante disco de la Vía Láctea es simétrico entre el norte y el sur, el halo galáctico no lo es. La galaxia emite un viento en forma de protones y otras partículas con carga, creando así una tenue nube que se extiende a gran distancia hacia el espacio intergaláctico en todas las direcciones, pero con una configuración ladeada hacia el sur. Hay una buena razón para que sea así. La Vía Láctea, junto con otras galaxias de nuestra vecindad, se desplaza a una velocidad de 200 kilómetros por segundo en dirección a una masiva agrupación de galaxias en la dirección de Virgo, que se halla hacia el norte, en términos galácticos. El medio intergaláctico, todavía más tenue (consistente básicamente en gas de hidrógeno ionizado), constituye un impedimento viscoso que ha deformado el halo hacia el sur, creando una asimetría. Donde el halo de gas entra en contacto con el medio intergaláctico, se produce una colisión en forma de arco. Con el tiempo, la energía liberada en este frente de colisión se transfiere, por medio de un proceso magnético, a los protones del medio intergaláctico y a los del halo, acelerándolos hasta energías muy elevadas. Son estos protones (junto a otros acelerados de modo parecido en el margen del halo) los que constituyen una gran fracción de los rayos cósmicos de alta energía que llegan a la Tierra. Nuestro planeta está protegido, hasta cierto punto, por su propio campo magnético, pero también por el campo magnético de la galaxia. La conclusión a la que llegaron Medvedev y Melott es que la intensidad de esta radiación cósmica que recibe la Tierra es sorprendentemente sensible a la localización del sistema solar. Cuando éste se sitúa «hacia el norte», más cerca del frente de colisión, el flujo de rayos cósmicos de alta energía es unas cinco veces mayor que cuando se encuentra «hacia el sur».

Hace ya tiempo que se invocan los rayos cósmicos para explicar las extinciones de especies. Un flujo elevado de rayos cósmicos que alcance las capas altas de la atmósfera provoca cambios químicos que pueden incrementar la cubierta de nubes, lo que puede desencadenar un drástico enfriamiento global. También puede crear una lluvia de unas perniciosas partículas subatómicas llamadas muones, que penetran a gran profundidad en los océanos y constituyen una amenaza para la vida marina. Además, los rayos cósmicos atacan la capa de ozono, dejando entonces que llegue a la superficie la mortífera radiación ultravioleta del Sol. El efecto combinado de todo ello es que la zona apta para la vida inteligente queda comprimida en una franja separada de la cara norte del plano galáctico. Es improbable que en un planeta del tipo de la Tierra pero alejado hacia la cara norte haya evolucionado hasta una civilización tecnológica, aunque es posible que se haya formado una civilización avanzada antes de que su sistema estelar migrara hacia el norte, y que ésta posea los conocimientos necesarios para «guarecerse de la tempestad» durante unos cuantos millones de años y salir ilesos de la tormenta de rayos cósmicos.^[5.13] En cualquier caso, cabe esperar que la mayoría de las civilizaciones perdurables surjan alrededor

de estrellas que realicen oscilaciones de menor amplitud y se mantengan cerca de la región segura del plano galáctico. Es razonable pensar que una civilización extraterrestre avanzada que utilice balizas decida reducir los costes concentrando el haz en este «plano de la vida» de la galaxia, en lugar de esparcir sus señales por el éter en todas las direcciones de manera indiscriminada. En consecuencia, si ahí afuera hay balizas, deberíamos encontrarlas agregadas en ese plano.

Las civilizaciones podrían utilizar balizas naturales como marcadores, con la esperanza de que los radioastrónomos de otros planetas estudien esos objetos y descubran algo raro en ellos. Centrarnos en esos objetos de manera específica podría ayudarnos a estrechar aun más la búsqueda. Los púlsares son potentes fuentes de radio bien conocidas por los astrónomos, y podrían usarse para atraer la atención hacia una señal artificial. Un púlsar es una estrella de neutrones que al girar esparce partículas cargadas, que luego emiten un haz intenso y estrecho de ondas de radio. [5.14] A medida que la estrella rota, el haz gira a su alrededor, igual que la luz de un faro. Desde la Tierra, el fenómeno se percibe como una serie muy regular de pulsos de radio. Algunas estrellas de neutrones giran tan rápido que los pulsos quedan espaciados apenas unos milisegundos. Estos objetos revisten un gran interés para los astrónomos, que los estudian a fondo. William Edmonson e Ian Stevens, de la Universidad de Birmingham, en el Reino Unido, han sugerido que los alienígenas podrían intentar transmitir pulsos artificiales en la dirección de los planetas habitables situados cerca de su línea de visión de un púlsar, transmitiendo entonces con la misma tasa que el púlsar. [5.15] Si la Tierra fuera uno de los planetas a los que apuntan, detectaríamos esos característicos pulsos desde una dirección del firmamento *opuesta* a la del púlsar, lo que constituiría una señal indisputable de algo inteligente y artificial. Edmonson y Stevens han identificado unas pocas docenas de estrellas que en potencia podrían sostener vida y que se encuentran dentro de un cono de 1° desde el lado de la Tierra, opuesto a púlsares muy estables y de rotación rápida. También han compilado una lista de las estrellas probables en la dirección frontal, es decir, bien alineadas con los púlsares. Como la señal debería consistir en pulsos regulares con un período conocido (el del púlsar), una señal mucho más débil sería detectable contra la radiación de fondo si se integran las observaciones durante un largo tiempo. Una civilización de tecnología más avanzada podría intentar utilizar la propia emisión del púlsar para transmitir su mensaje, modulando para ello los pulsos naturales de algún modo. Eso resolvería de una manera muy elegante el problema de la energía, pues los púlsares son tan potentes que pueden detectarse al otro lado de la galaxia con un radiotelescopio modesto. La señal debería manifestarse entonces como una pauta en la frecuencia, la intensidad o la polarización de los pulsos de radio.

Una baliza que sólo haga «blip» tendría un valor limitado para una comunidad que realice transmisiones, ya que un pulso transitorio no tiene, por su propia

naturaleza, capacidad para codificar una gran cantidad de información. No obstante, podría actuar como una llave, permitiendo el acceso a una base de datos mucho mayor. Por ejemplo, la baliza podría indicar cómo descargar la *Enciclopedia Galáctica* de un repositorio. Pero ¿dónde podría hallarse el repositorio más cercano? ¿A medio camino del otro extremo de la galaxia? Quizá. Pero hay razones para pensar que podría estar en nuestro mismísimo umbral astronómico.

Un mensaje en nuestro umbral

El principal inconveniente del SETI convencional es el inmenso intervalo de tiempo necesario para que las señales de radio transiten entre las estrellas. Si descubriéramos otra civilización a 1.000 años luz de distancia, tardaríamos al menos 2.000 años en recibir una respuesta a cualquier mensaje que les enviásemos. Como bien señaló Carl Sagan, eso no es lo que se dice una charla animada. Visto desde una perspectiva geológica o evolutiva, dos milenios son un abrir y cerrar de ojos, pero a escala humana es una lentitud exasperante. Sin embargo, hay una posibilidad más esperanzadora. Los humanos podríamos mantener una conversación con una inteligencia inteligente, y casi a tiempo real, a través de un sustituto en la forma de una sonda que los extraterrestres habrían enviado hasta el sistema solar, donde el tiempo de desplazamiento de las señales se mide en horas o minutos.^[5.16] Ronald Bracewell planteó esta posibilidad en los comienzos del SETI, y desde entonces ha sido un tema recurrente.^[5.17]

Desde el punto de vista de los alienígenas, la gran ventaja que ofrece una sonda es que puede plantarse y olvidarse uno de ella. Con el diseño adecuado, podría sobrevivir a la civilización que la envió. No necesita una gran antena, salvo que se requiera para informar al centro de mando en el planeta de origen. Los radiotelescopios de la Tierra no tuvieron problema en captar la señal de la nave *Pioneer 10* en los márgenes del sistema solar (hace unos años se perdió el contacto), y su transmisor no era más potente que una bombilla de árbol de Navidad. Una sonda alienígena podría almacenar una ingente cantidad de información en un chip diminuto; una vez hubiera establecido contacto con nosotros, su supercomputadora podría iniciar un intenso intercambio educativo y cultural. En principio, la sonda podría tener cualquier tamaño, pero por el momento pienso en algo parecido a uno de nuestros satélites de comunicaciones.

Si cerca de nuestro planeta hubiese una sonda alienígena, ¿nos daríamos cuenta? Desde nuestro punto de vista, lo mejor sería una sonda en órbita alrededor de la Tierra. Pero podemos descartarlo: la inmensa cantidad de material en órbita (en su mayor parte chatarra) se ha catalogado con todo detalle, y no hay objetos desconocidos circulando por encima de nuestras cabezas. ¿Y más lejos? Una pequeña sonda en órbita geosincrónica^[5.18] (que es mucho más alta), o alrededor de la Luna, probablemente habría escapado a nuestra atención en estos momentos. La mecánica newtoniana demuestra que las órbitas estables a largo plazo son pocas y deben

escogerse con sumo cuidado para eludir la necesidad de corregir la órbita con frecuencia. Por suerte, hay dos puntos en el espacio donde los campos gravitatorios combinados del Sol y la Tierra crean órbitas estables que llevan el paso con respecto a la Tierra en su viaje alrededor del Sol; técnicamente, se conocen como puntos L4 y L5 de Lagrange. Los científicos del SETI se están ocupando de ellos; ya se han realizado varias búsquedas preliminares de los puntos de Lagrange, pero no han revelado nada inusual.^[5.19] Lo que todavía no se ha intentado, por lo que yo sé, es enviar un haz de potentes señales de radio desde la Tierra hacia L4 y L5 con el propósito de «despertar» una posible sonda extraterrestre que pudiera estar allí aparcada.

El resto del sistema solar es tan vasto que una búsqueda sistemática de una sonda pequeña no es realista. Un objeto artificial en el cinturón de asteroides, donde estaría rodeado de rocas en órbita de todas las formas y tamaños, sería casi con seguridad imposible de identificar, sobre todo si se encuentra anclado a un asteroide. Una forma esférica o cónica precisa, o un conjunto de objetos conectados mediante puntales sin duda nos pondrían en alerta, pero si los alienígenas quisieran ocultar deliberadamente una sonda, no les costaría nada. El sistema solar podría estar plagado de sondas extraterrestres y ni nos enteraríamos a no ser que nos enviaran alguna señal.

No hay ninguna razón para pensar que una sonda en el sistema solar haya llegado en tiempos recientes. Podría haber sido enviada hace millones de años por una civilización que, con la ayuda de observaciones remotas, hubiera determinado que había vida en la Tierra. La sonda se habría mantenido pasiva, observando nuestro planeta y pasando el tiempo hasta que emergiera una sociedad tecnológica. En ese momento, si la computadora de la sonda lo considerara prudente, podría iniciar el contacto. ¿Cómo se produciría éste? El método más obvio sería que la sonda nos enviase una señal de radio. Para que pudiéramos reconocer su naturaleza excepcional, la señal tendría que llamar nuestra atención saliéndose mucho de lo habitual. Una sugerencia (usada por Carl Sagan en *Contacto*) es que la sonda nos reenviara una antigua emisión de nuestra propia radio o televisión. No cabe duda que nos dejaría pasmados que uno de nuestros radiotelescopios detectara una emisión de *I Love Lucy* procedente del espacio profundo. (Para que conste, la primera emisión de *I Love Lucy* tuvo lugar el 15 de octubre de 1951.) Por otro lado, si fueran telespectadores quienes recibieran la emisión en sus televisores, no les parecería raro, sólo otra reposición entre tantas.^[5.20]

Una propuesta más extravagante es que la sonda utilizase Internet para comunicarse con nosotros. Sin duda la computadora de a bordo de la sonda estaría programada para evaluar primero el nivel de desarrollo y el carácter general de la sociedad humana antes de decidir manifestar su presencia. ¿Qué mejor manera de hacerse una idea de cómo es la humanidad que hojeando páginas webs, correos

electrónicos, chats, YouTube, etc.? Al fin y al cabo, eso es lo que hacen las agencias de espionaje de los gobiernos. Cuando llegara el momento, la sonda ingresaría en un sitio web adecuado a través de una conexión por microondas y anunciaría públicamente su existencia.

Un grupo de entusiastas del SETI, encabezados por un investigador canadiense, Allen Tough, se han tomado la idea lo bastante en serio como para crear un sitio web dedicado de manera exclusiva a invitar a ET a conectarse (<http://www.ietl.org/>). El lector que se tome la molestia de visitarlo descubrirá mi nombre en la lista de signatarios que dan apoyo a este proyecto tan excéntrico como imaginativo. Como puede imaginarse, el sitio web ha atraído a una serie inacabable de astutos amigos del engaño, pero por desgracia a ninguna sonda extraterrestre, por lo menos hasta ahora. No obstante, la existencia del sitio web nos lleva a pensar en cómo podemos estar seguros de que quien se pone en contacto es realmente una entidad extraterrestre y no un bromista humano. Sería terrible que ET llamara y le respondiéramos «vete a tomarle el pelo a otro». Hace algunos años, Allen me llamó para consultarme sobre un misterioso contendiente que había superado sin problemas varias de las pruebas básicas diseñadas para identificar los engaños más burdos. Me pidió que le sugiriera una forma infalible de desenmascarar a un farsante. Le propuse que respondiera con un número de cien dígitos formado por el producto de dos números primos, y pidiera al contendiente que lo devolviera descompuesto en el producto de los números originales. La clave de la cuestión es que multiplicar dos números es fácil, pero el contrario, factorizar, es mucho más difícil. A modo de ejemplo, la mayoría de la gente tardaría menos de un minuto en resolver, por ejemplo, $141 \times 79 = 11.139$, pero si nos piden que hallemos dos números primos que multiplicados entre sí den 11.139, nos llevaría mucho más tiempo. Para conseguirlo hay que examinar todas las posibilidades y eliminarlas una a una hasta dar con la respuesta correcta. Un ordenador se enfrenta al mismo obstáculo, y los números grandes desconciertan hasta a las supercomputadoras más grandes del mundo. Por eso el producto de números primos está en la base de la mayoría de los sistemas de encriptación. Allen siguió la sugerencia y envió algunos números primos; para nuestra sorpresa, ¡el contacto respondió con la respuesta correcta al cabo de poco tiempo! Así que probamos con un número de 200 dígitos, que sabíamos que estaba más allá de las capacidades de cualquier supercomputador conocido. Llegados a este punto, el burlador, un operario de computadoras aburrido de Birmingham (Reino Unido), lanzó la toalla. El problema de la prueba de los números primos es que podría ser batido por una computadora cuántica, si alguna vez conseguimos construir una (véase el capítulo 7). Hasta el momento, pese a la inversión de millones de dólares en investigación, la computación cuántica sigue estando en pañales. Pero si alguna vez logramos construir una, habremos perdido una prueba muy útil para reconocer una tecnología

extraterrestre.

Otra idea popular es que haya un artefacto extraterrestre en la propia Tierra. De ser así, ¿por qué no lo hemos encontrado? Hay muchos lugares donde un objeto de este tipo podría permanecer oculto, por ejemplo el fondo del océano, o enterrado a gran profundidad en el casquete de hielo de Groenlandia. Podría estar bajo Tierra en casi cualquier lugar del mundo sin que lo hayamos localizado. Todas estas posibilidades se han usado en la ciencia ficción, pero no está claro qué razón podría llevar a una civilización extraterrestre a ocultar un artefacto de este modo.

Si unos alienígenas enviaron una sonda a la Tierra por si acaso, sin saber de cierto si nuestro planeta tenía, o tendría pronto, una civilización extraterrestre, lo más probable es que llegase hace mucho tiempo, pongamos 10 millones de años, o incluso más. Uno de los principales obstáculos a los que se habrían enfrentado quienes lo enviaran sería el de construir un artefacto que pudiera permanecer intacto y funcional durante tan enorme cantidad de tiempo. (Nuestra tecnología sólo se mantiene funcional durante décadas). Desde el punto de vista de la durabilidad, la superficie de la Tierra es un lugar poco agradecido para aparcar una sonda a causa de cambios geológicos como glaciaciones, impactos de cometas, erupciones volcánicas, terremotos, etc. Un lugar menos variable sería la Luna, siempre y cuando el objeto se enterrara a la profundidad suficiente para evitar los impactos de pequeños meteoritos. Ésta es la posibilidad que exploraron Arthur C. Clarke y Stanley Kubrick en la célebre historia de *2001: Una odisea en el espacio*, donde el artefacto extraterrestre aparece como un obelisco gigante. Aunque la superficie de la Luna se ha fotografiado con todo detalle, si la sonda fuese pequeña, o si estuviese enterrada, todavía no la habríamos descubierto.

Nanosondas, mensajeros víricos y genomas manipulados

Una objeción a la estrategia de «hacer correr la voz» por medio de sondas de alta velocidad en lugar de señales de radio es el coste. Por ejemplo, una nave espacial de una tonelada que viajase a la moderada velocidad de una décima parte de la velocidad de la luz, requeriría 500 billones de julios de energía para su lanzamiento, el equivalente a toda la potencia generada en la Tierra durante varias horas. Y eso sin tener en cuenta que, ¡de algún modo!, la nave tendrá que frenar a su llegada, lo que podría requerir la misma cantidad de energía, sino más. Tendría que ser enorme la motivación para embarcarse en un proyecto como éste sólo por altruismo o curiosidad (y no por desesperación, por ejemplo para conservar algo antes de una hecatombe), sobre todo si se contempla enviar toda una flota de sondas que cubran una amplia sección de la galaxia.

Por suerte, hay una manera de reducir de forma drástica el factor energético, que consiste en construir sondas inteligentes que puedan repararse a sí mismas y reproducirse por el camino. En lugar de enviar una sonda individual a cada sistema estelar que le parezca prometedor, ET podría lanzar una única sonda que se vaya multiplicando. La idea de máquinas con capacidad de autorreplicarse fue explorada originalmente por el matemático húngaro John von Neumann, a quien, junto a Alan Turing, un matemático especialista en romper códigos secretos durante la segunda guerra mundial, se le atribuye la invención de las modernas computadoras electrónicas (que por fin hicieron realidad las ideas de Babbage del siglo XIX). Una computadora es una máquina universal, en el sentido de que cualquiera de ellas se puede programar para resolver todos los problemas computables. El concepto de computadora universal conduce de forma natural a la idea de constructor universal, una máquina capaz de hacer otras máquinas siguiendo un programa interno. Con un programa adecuado, una máquina de Von Neumann podría incluso realizar copias *de sí misma* (incluidas las instrucciones para copiarse) y, por lo tanto, constituiría una máquina con capacidad de reproducirse a sí misma.^[5.21]

No es difícil imaginar una civilización avanzada que enviara sondas de Von Neumann para explorar la galaxia. Al llegar a un sistema estelar, una de estas máquinas podría extraer de asteroides o cometas las materias primas necesarias para replicarse. Entonces una parte de su progenie podría dedicarse a estudiar los planetas, y tal vez a establecer contacto con la vida inteligente, enviando la información recogida de vuelta a su planeta de origen. Incluso podrían permanecer de manera

indefinida en el sistema solar funcionando como balizas, o como sondas silenciosas, mientras otras viajan hasta el siguiente sistema solar. El proceso continuaría *ad infinitum*, en cuyo caso el número de sondas aumentaría de manera exponencial. De este modo, los costes de construcción del programa de exploración no recaerían en su totalidad sobre la civilización original.

Hay posibilidades de mejorar el coste de forma aún más drástica por medio de la miniaturización, prescindiendo de equipos innecesarios y radiotransmisores. Si el cometido de la sonda es sólo el de divulgar un mensaje, o información básica sobre la civilización que lo envía, hay una manera mucho más fácil de cumplirlo, que es usando nanotecnología. En 1959, el mismo año en que Cocconi y Morrison publicaron su artículo visionario sobre el SETI, se pudo escuchar una conferencia no menos visionaria dictada por Richard Feynman, el brillante y creativo físico teórico. Titulada «Hay mucho espacio al fondo», la conferencia se anticipó a la ingeniería a escala molecular varias décadas antes de que ésta diera sus primeros frutos. En la actualidad la nanotecnología avanza con gran rapidez. Primero fue el increíble microchip menguante, luego el microscopio de fuerza atómica, capaz de mover átomos individuales de forma controlada, luego los nanotubos de carbono y los puntos cuánticos. Es más que probable que la nanotecnología tenga una gran repercusión en los medios de almacenar información. En un discurso de enero de 2000 sobre la ciencia y la tecnología, el presidente Bill Clinton comentó la Iniciativa Nacional sobre Nanotecnología de Estados Unidos, haciendo referencia a algunas de sus posibilidades, como la de «encoger toda la información que alberga la Biblioteca del Congreso hasta que quepa en un dispositivo del tamaño de un terrón de azúcar».^[5.22] Se ha estimado que el contenido de una buena enciclopedia podría empaquetarse en un volumen menor que el de una bacteria. El progreso es tan rápido que los alarmistas predicen el fin del mundo tal como lo conocemos, cuando unas nanomáquinas fuera de control transformen la superficie del planeta en una «plasta gris».^[5.23] En sentido estricto, «nano» se refiere a la escala de tamaño de una milmillonésima de metro, que corresponde a una molécula grande, pero el término se utiliza de forma más laxa para referirse a toda la ingeniería a escala ultrapequeña.

En un futuro no muy lejano, cuando los humanos seamos capaces de construir micromáquinas o nanomáquinas que almacenen cantidades prodigiosas de información, podremos utilizarlas como sondas espaciales. A causa de su diminuto tamaño, se podrían acelerar hasta alcanzar altas velocidades (digamos que 0,01 por ciento de la velocidad de la luz) con un coste muy bajo, tal vez sin necesidad de cohetes. Todavía tardarían varios millones de años en alcanzar sus objetivos, pero la prisa no entra en el escenario que estoy explorando. No cuesta imaginar una civilización avanzada que empaquete minibancos de datos en cápsulas microscópicas que esparza a millones por toda la galaxia.

Una nanosonda se diferencia de la sonda de tipo Bracewell que hemos comentado anteriormente en que no podría enviar señales de radio para atraer la atención. Entonces ¿de qué modo tendría un impacto? Aquí es donde entra la idea de Von Neumann. Si la nanosonda fuera una máquina de Von Neumann autorreplicante, al llegar a su destino podría replicarse sin cesar hasta formar una espuma que a algún científico curioso se le ocurriera examinar con un potente microscopio. Pero hay una estrategia más elegante. La naturaleza ya ha inventado unas nanomáquinas muy bien empaquetadas y con un gran contenido de información; las llamamos virus.^[5.24] Un virus típico contiene miles de bits de información codificada en ARN o ADN, suficiente para un mensaje decente. Entonces, ¿por qué no construir con técnicas de ingeniería genética millones de virus y empaquetarlos en microsondas del tamaño de un guisante que se puedan dispersar por la galaxia? Cada virus podría llevar un mensaje para cualquier vida inteligente del futuro en el planeta de destino,^[5.25] algo así como el equivalente del mensaje en la botella de la era espacial. Lo mejor de la idea es que el mensaje podría replicarse *ad infinitum* en el caso de que encuentre vida en el planeta de destino, gracias a la simple solución de programar los virus para que «infecten» cualesquiera células con ADN con las que entren en contacto. El virus inserta entonces su mensaje en el material genético de las células germinales del organismo hospedador (que es lo que hacen los llamados retrovirus endógenos), y la célula, quiera o no, lo replicará y transmitirá el mensaje a todas las generaciones futuras. De este modo, el virus podría extenderse como el fuego por el ecosistema hospedador, y su información se preservaría durante millones de años hasta que un futuro Craig Venter comenzara a secuenciar genomas y tropezara con el mensaje. No hay duda de que el ADN se introduce en las células vivas de este modo; hay segmentos enteros de ADN humano que son detritos genómicos de antiguos virus que infectaron a nuestros antepasados.

Tal como lo he descrito, parece sencillo, pero la realidad es que por el camino hay que superar varios obstáculos técnicos importantes. El más obvio es que el ADN podría ser tan sólo una entre las muchas maneras de codificar la información genética, y cuesta ver de qué modo podrían saber por adelantado los extraterrestres cuál de ellas utiliza la vida terrestre. Un segundo problema tiene que ver con la física. El espacio interestelar es un medio peligroso. En particular, los rayos cósmicos pueden provocar en las nanoestructuras graves daños que, con el tiempo, acabarían por degenerar el mensaje molecular. Además, el proyectil tendría que frenarse a su llegada para entrar en la atmósfera del planeta elegido sin calcinarse. Añadir combustible para la deceleración aumentaría la carga de la sonda, y de manera muy sustancial. Estas mejoras echarían por tierra la filosofía de lo pequeño, rápido y barato que está en la base de la idea de las microsondas. Posiblemente los problemas técnicos podrían resolverse sin añadir cantidades exageradas de peso, por ejemplo,

usando una forma de aerofreno para reducir la velocidad, pero aun en el caso de que pudieran llegar, los virus construidos tendrían que enfrentarse a graves problemas biológicos a su llegada. Los virus están en sintonía con sus hospedadores; por eso podemos nadar en el mar, que, como se recordará, es una sopa de virus, sin que (por lo general) enfermemos. Así que aun en el caso de que ET adivinara que la Tierra está repleta de vida basada en el ADN, sin conocer los aspectos específicos de los genomas hospedadores se hace difícil imaginar cómo puede diseñarse un virus que sea fiable. Tal vez puedan construirse virus universales, muy generalistas, que infecten a una gran variedad de organismos sin matarlos.

Un segundo problema son las mutaciones. Una vez introducido el mensaje, tiene que permanecer inmutable durante tanto tiempo como sea posible si se quiere que algún día pueda ser descubierto. Pero durante el proceso de copia del ADN se producen constantemente mutaciones naturales, y un mensaje mutado es un mensaje desbaratado, que degenera en un sinsentido. La selección natural puede estabilizar la información genética, pero sólo si hay una presión de selección: sólo si una mutación tiene consecuencias negativas para la supervivencia del organismo, acaba eliminándose del acervo genético. Pero si el segmento introducido (el mensaje) es biológicamente inactivo (si simplemente viaja con el ADN), es difícil ver de qué modo puede conservarlo la selección natural. Parece que buena parte del ADN es «ADN basura», grandes segmentos que no codifican nada, de modo que muta con rapidez y sin causar perjuicios generación tras generación, sin el control que ejerce la selección natural. Si suponemos que el ADN vírico es tratado como ADN basura por el organismo hospedador, se corre el riesgo de que las mutaciones acaben embrollando el mensaje al cabo de unos miles de generaciones. Sin embargo, esta concepción tan simple hoy se pone en duda. En los genomas de humanos y ratones se ha descubierto lo que parecen ser secciones idénticas y de tamaño considerable de ADN basura, lo que sugiere que estas secciones se han conservado desde que antepasados comunes de ratones y humanos se separaron hace unos 40 millones de años. Cabe la posibilidad de que estas secuencias desempeñen algún papel vital y sutil, pero no es obvio que sea así, pues cuando se borran de su genoma, los ratones no parecen enterarse. Así que es posible que algunas secciones del ADN basura puedan replicarse con precisión y conservarse durante millones de años, tal vez porque viajan de algún modo vinculados a genes esenciales sometidos a una fuerte presión de selección, y que por consiguiente se conservan. Sea como fuere, si un virus alienígena se colara en el genoma de un hospedador de este modo, el mensaje podría ser válido durante decenas de millones de años.^[5.26]

Hay una forma alternativa de enviar un mensaje biológico que elude algunos de los problemas de los virus. En lugar de intentar secuestrar la vida indígena, los extraterrestres podrían intentar crear una biosfera paralela artificial *ab initio*. Una

civilización situada a unos pocos miles de años luz podría, aun desde esa distancia, saber lo bastante sobre la geología, atmósfera y composición química de la Tierra como para deducir algo acerca de nuestra biología y condiciones ambientales. Armado con esa información, podría diseñar desde cero unos microbios acomodados a las condiciones del medio terrestre, que convivieran sin conflictos con los organismos indígenas. Las células sintéticas no tendrían por qué utilizar ADN o proteínas, y podrían diseñarse para crecer en condiciones tan extremas para la vida propia de la Tierra, que se evitara la competencia directa. Si utilizaran estructuras moleculares con enlaces más fuertes que los del ADN, estas células sufrirían menos daños por los rayos cósmicos durante su viaje. Los valiosos mensajes se codificarían de tal manera que mutaran muy poco, poseyeran redundancia y dispusieran de mecanismos de corrección de errores como los que se encuentran en los organismos terrestres. El paquete de microbios podría ser específico para la Tierra, o dirigirse a cualquier planeta con probabilidades de engendrar algún día vida inteligente. A su llegada, los microbios se instalarían, se dispersarían por el planeta, posiblemente adaptándose a condiciones cambiantes, y se mantendrían inocuos durante decenas de millones de años a la espera de ser descubiertos. Si algún día descubrimos una biosfera en la sombra, sería un lugar más plausible para buscar un mensaje alienígena que en los genomas de la vida tal como la conocemos.

La viabilidad de este método de enviar mensajes entre estrellas depende de si pueden entregarse de una forma efectiva. Michael Mautner, un químico de Nueva Zelanda que además dirige la Panspermia Society, ha realizado algunos cálculos al respecto, y cree que puede funcionar. De hecho, cree que los humanos podrían hacerlo con tecnología previsible. La clave está en microminiaturizar la carga. Mautner imagina membranas de centímetros de grosor con unas bolitas diminutas en el interior. Los microbios viajarían en el interior de las bolitas, junto a un conjunto inicial de nutrientes. Las membranas reflejarían el viento solar y la luz del sol, recibiendo de este modo una fuerza de propulsión pequeña pero persistente. Acumulado con los años, este efecto diminuto iría acelerando la cápsula poco a poco hasta un 0,01 por ciento de la velocidad de la luz. Una vez alcanzada la velocidad de crucero, la pequeña nave espacial soltaría la vela solar, o envolvería con ella la cápsula para proporcionarle una protección adicional frente a los rayos cósmicos. No pasaría casi nada durante el viaje. Los microbios se mantendrían en un estado de latencia, la cápsula se enfriaría hasta unos pocos grados por encima del cero absoluto y la pequeña caja de prodigios cruzaría zumbando, sin encontrar ningún obstáculo, el vacío interestelar. Al acercarse al sistema planetario de destino, la cápsula se fragmentaría, transformándose de una bala veloz en una perdigonada. Mautner ha calculado que una mota de 60 micrómetros de diámetro podría sobrevivir al aerofrenado al penetrar en la atmósfera del planeta sin incinerar su carga.

Otra estrategia sería que los alienígenas utilizaran cometas como vehículo de entrega. Por medio de una serie de desviaciones gravitatorias bien planificadas, se podría expulsar un cometa del sistema planetario de los alienígenas en dirección al nuestro. Existen indicios a favor de que microbios o virus en estado latente podrían sobrevivir en el interior de un cometa durante muchos millones de años, un tiempo más que suficiente para atravesar años luz el espacio a las velocidades típicas de eyección. Cuando un cometa se acerca lo suficiente a una estrella, comienza a evaporarse, produciendo su característica cola de gas, agua y partículas microscópicas. Si el cometa viniera cargado de bacterias, virus o cualquier otro tipo de entidad microbiana de diseño, también éstas saldrían despedidas formando una larga y difusa nube infecciosa. Si en ese momento la Tierra atravesara la nube, adquiriría una dosis de agentes biológicos viables.^[5.27]

Por muy especulativa que pueda ser la idea del «SETI genómico», merece la pena echar un vistazo en busca de genomas manipulados. Eso es justamente lo que hicieron, ya en 1979, Hiromitsu Yokoo y Tairo Oshima, de la Facultad de Medicina Hachioji de la Universidad Kyorin de Japón. Examinaron entonces el ADN de Φ X174, un virus que infecta bacterias, o bacteriófago, para ver si contenía algo raro.^[5.28] No era así, pero aquéllos eran los primeros días de la bioinformática. En la actualidad, la secuenciación de genomas es toda una industria, y se está leyendo, y colgando en Internet, el genoma de muchos organismos, desde los microbios a los humanos. Ha llegado la hora de hacer una búsqueda sistemática de estos genomas en busca de rarezas sugerentes. La secuenciación se hace de todos modos, así que no cuesta casi nada explorar los datos con un sistema informático en busca de algún patrón sospechoso. De hecho, el enorme éxito del proyecto SETI@home ha sido emulado por genome@home, que por desgracia en la actualidad se ha suspendido. No sería nada difícil juntar los dos. ¿Quién sabe lo que podría salir de todo ello? El proyecto podría parafrasear a *Expediente X* y promoverse con su pegadizo eslogan: «La verdad está ahí afuera».

INDICIOS DE UNA DIÁSPORA GALÁCTICA

Cuando se ha descartado lo imposible, lo que queda, por improbable que sea, debe ser la verdad.

Sherlock Holmes^[6.1]

¿Dónde están todos?

Durante el verano de 1950, el físico italiano Enrico Fermi estuvo trabajando en Los Álamos, en Nuevo México, en el laboratorio donde se había diseñado la bomba atómica durante la segunda guerra mundial. Fermi ya era entonces una figura legendaria de la física teórica gracias a que había resuelto un gran número de problemas de la mecánica cuántica, la física de partículas y la astrofísica, y a que había desempeñado un papel central en el proyecto Manhattan. Era visto como el genio arquetípico (véase la figura 9). Un día Fermi se dirigía a comer con unos colegas, entre los que se contaba Edward Teller, conocido a veces como el padre de la bomba de hidrógeno, y John von Neumann (a quien mencioné en el capítulo anterior con relación a las máquinas autorreplicantes), cuando la conversación giró en torno a los ovnis, o «platillos volantes», como los había bautizado la prensa, que por aquel entonces se avistaban en gran número. La charla derivó de manera natural hacia una animada discusión sobre la probabilidad de que haya vida extraterrestre y de que los platillos volantes fuesen en efecto naves espaciales alienígenas. A mitad del debate, Fermi preguntó de repente: «¿Dónde están todos?», refiriéndose, por supuesto, a los supuestos alienígenas. Si la galaxia está repleta de vida, explicó, la Tierra debería haber sido colonizada en el pasado. Los extraterrestres deberían haber estado aquí desde hace mucho tiempo, y deberíamos conocerlos.

El argumento básico de Fermi es sencillo. La vida en la Tierra ha tardado 3.000 o 4.000 millones de años en evolucionar hasta la inteligencia y la tecnología. Si, al mismo tiempo que en la Tierra, hubiera comenzado la vida en otro planeta, llamémosle X, la probabilidad de que la vida en X hubiera alcanzado el mismo nivel de tecnología que los humanos en este momento, o de unos pocos miles de años arriba o abajo, es extraordinariamente pequeña. Pensemos en los muchos eventos aleatorios que se han producido durante los miles de millones de años de evolución, como el impacto que acabó con la vida de los dinosaurios hace 65 millones de años. ¿Cuál es la probabilidad de que en el planeta X se produjese un impacto similar que además hubiera provocado una transformación parecida y más o menos al mismo tiempo? Despreciable. Si X evolucionó hasta la vida inteligente y la tecnología siguiendo una vía evolutiva distinta, podría haber alcanzado el nivel de la tecnología humana decenas o incluso millones de años antes que nosotros. O después. Si la Tierra fuese típica y si ahí afuera hubiese montones de planetas X, en algunos de ellos la vida evolucionaría hasta la tecnología más despacio que aquí, así que a esos

planetas todavía les quedaría mucho tiempo antes de alcanzar nuestro nivel tecnológico, tal vez 100 millones de años o más. Ahora añadamos a eso que hubiera planetas parecidos a la Tierra antes de que nuestro sistema solar siquiera existiera: en esos planetas, la vida le llevaría mucha ventaja a la nuestra. Juntando todo esto, la conclusión es evidente: si la vida está muy extendida y la Tierra es típica, debería haber habido muchos planetas con civilizaciones avanzadas que hubieran conquistado el espacio hace mucho, mucho tiempo. Entonces, ¿por qué todavía no han llegado aquí los extraterrestres? Esto es, en pocas palabras, lo que ha dado en conocerse como «paradoja de Fermi». En sentido estricto, no se trata de una paradoja tal como la definen los filósofos sino, simplemente, una consecuencia ineludible de unas suposiciones bastante plausibles. Pero ¿cuál es la respuesta?

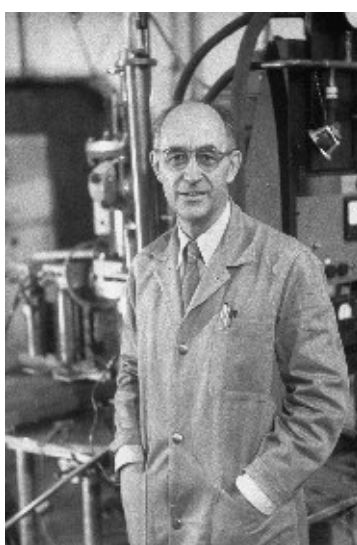


FIGURA 9. El genio italiano Enrico Fermi.

La explicación más obvia de la ausencia de extraterrestres en la Tierra es que no existen, que estamos solos en el universo. Ésa era presuntamente la posición de Fermi, y el objeto de su argumentación era desacreditar las historias de platillos volantes. Si ésta es la respuesta correcta, SETI es una pérdida de tiempo y dinero. Pero no debemos apresurarnos a extraer esta conclusión tan pesimista. Podemos pensar en muchas razones por las cuales las civilizaciones extraterrestre estén ahí afuera pero no aquí con nosotros. Un entretenido libro de Stephen Webb proporciona una lista de no menos de cincuenta explicaciones de la llamativa ausencia de ET,^[6.2] desde la «hipótesis del zoo» (nos miran, pero no establecen contacto) hasta la hipótesis del «universo paralelo» (los alienígenas están demasiado entretenidos explorando otros universos como para molestarse con nosotros). Cada uno que elija la suya.

A modo de ilustración, consideremos la siguiente propuesta. Supongamos que en la Vía Láctea hay muchas civilizaciones que ya hace mucho tiempo que establecieron una red galáctica para el intercambio de información. Ésta es una idea que se remonta

a 1974, cuando un astrónomo de la Universidad de Stanford, Ronald Bracewell, imaginó un «Club Galáctico» de civilizaciones que se comunicaban, que compartían noticias, información y cotilleos enviándose datos entre las estrellas como mensajes de correo electrónico por una Internet cósmica.^[6.3] El club podría haberse constituido incluso antes de que se formara el sistema solar, hace unos 4.500 millones de años (la galaxia tiene más de 12.000 millones de años). Algunos miembros se habrían dado de baja si sus civilizaciones decaían o eran destruidas por una catástrofe, mientras que otras se irían apuntando a medida que alcanzaran la tecnología de la radio y descubrieran que existía una red de intercambio de información ya operativa. Bracewell creía que la humanidad estaba a punto de unirse a este Club Galáctico como el más reciente de los miembros, un paso que nos reportaría incontables beneficios, pero que también constituiría una traba para desarrollar los viajes interestelares. Si la motivación para explorar es satisfacer la curiosidad y obtener información, es mucho más fácil entrar en la GWW (Galactic Wide Web) y obtener la información gratis. A fin de cuentas, es mucho más rápido y barato enviar ondas de radio por el espacio interestelar que unas grandes máquinas de metal. Si en el planeta de destino ya hay alguien, ¿por qué molestarse en viajar hasta allí? Si el objeto de los viajes espaciales es la exploración, bastaría con que los alienígenas nos enviaran el contenido de sus últimos DVD. Por otro lado, si el propósito es la conquista, el hecho de que el planeta escogido ya tenga una civilización más avanzada y cómodamente instalada sería un fuerte elemento disuasorio. Al final, tendría más sentido que la civilización recién llegada se quedara donde está y se limitara a unirse al Club Galáctico. Pero si nadie viaja, no hay razón alguna para que aquí haya extraterrestres, o siquiera pasen cerca de nosotros. No es que no haya nadie ahí afuera, es que los viajes espaciales no son una idea demasiado atractiva. Creo que este argumento tiene cierta fuerza, pero sólo resulta convincente si existe un número muy grande de planetas con comunidades tecnológicas autóctonas. Si hay muchos inmuebles planetarios vacíos por el espacio, es más probable que alguna civilización se mude y lo ocupe, aun cuando permanezca en «el Club». Además, conviene recelar, como siempre, del antropocentrismo. Los humanos han sido siempre propensos a migrar por curiosidad, ganancias materiales o conquista. Pero podría haber muchos motivos para que una civilización alienígena se expanda por el espacio, algunas de las cuales tendrían muy poco sentido para nosotros.

Una cuestión que en este caso carece de relevancia es la enorme distancia que existe entre las estrellas. Es cierto que, a las velocidades que podemos alcanzar los humanos, llevaría mucho tiempo completar el viaje desde un sistema estelar a otro, incluso para una nave muy veloz. Sin embargo, a una décima parte de la velocidad de la luz, para que una nave cruzara la galaxia sólo se necesitaría un millón de años. Si hubiera existido alguna civilización alienígena en algún lugar de la galaxia durante,

pongamos, los últimos mil millones de años, un viaje de un millón de años todavía se encontraría dentro de su escala de tiempo. Naturalmente, quizá no quisiera realizar el viaje de un solo golpe. Lo más probable es que se desplazara de un planeta a otro cercano, tal vez en enormes arcas espaciales que tardarían varias generaciones en completar el viaje, y se instalaran en cada nuevo planeta. Con el tiempo, la colonia maduraría y los colonos se aventurarían hasta el siguiente planeta adecuado, y así sucesivamente. Esta colonización progresiva es más lenta que una expedición con un destino específico, pero no mucho a una escala astronómica. Si una colonia tardara unos mil años en madurar, y si los planetas adecuados se encontraran a una distancia media de unos diez años luz, el tiempo acumulado de residencia planetaria añadiría tan sólo unos 3 millones de años al tiempo total necesario para alcanzar la Tierra desde el interior de la galaxia, donde residen las estrellas más viejas y donde, por consiguiente, cabría esperar que se encontraran las civilizaciones más avanzadas. Eso es menos de cuatro millones de años para llegar aquí. Por supuesto, no cabría esperar que los alienígenas se vinieran derechos a la Tierra, con todos los apetecibles planetas habitables que se encontrarían por el camino. Más bien podemos imaginar que la civilización original iría extendiendo sus tentáculos colonizadores en todas las direcciones que resultaran prometedoras, tal vez hasta englobar toda la galaxia. Un proceso de difusión como éste llevaría más tiempo, pero aun así constituiría solamente una pequeña fracción de la edad de la galaxia. Como es obvio, no todas las civilizaciones que viajaran por el espacio estarían interesadas en colonizar la galaxia al estilo de un imperio; mejor que no sea así, pues de lo contrario se producirían continuamente acres conflictos. Pero bastaría *una* sola de esas comunidades en algún lugar de la galaxia para que se nos plantee el difícil acertijo de Fermi.

Cuando Fermi enunció su «paradoja» original, lo que tenía en mente eran alienígenas de carne y hueso que llegaran a la Tierra, pero puede aplicarse el mismo razonamiento a los artefactos alienígenas, sobre todo si pueden multiplicarse y dispersarse, como las máquinas de Von Neumann. Cuando se trata de la exploración y colonización del espacio, unas máquinas que puedan replicarse ofrecen grandes ventajas en comparación con los pioneros biológicos en cuanto a coste, durabilidad y supervivencia. Si las civilizaciones extraterrestres son comunes, la galaxia debería estar plagada de máquinas de Von Neumann, pues éstas podrían colonizar toda la Vía Láctea en mucho menos tiempo que la edad del sistema solar. Como hasta el momento no se ha hallado ningún indicio de máquinas de Von Neumann en nuestro vecindario astronómico, podría interpretarse que su ausencia inclina la balanza en contra de la hipótesis de que las civilizaciones extraterrestres son comunes.

El físico Frank Tipler ha defendido enérgicamente que la ausencia aparente de máquinas de Von Neumann en el sistema solar demuestra que estamos solos en el universo. Según sus propias estimaciones, sólo harían falta 300 millones de años para

llenar la galaxia con estos dispositivos, así que ha habido tiempo de sobra para que se produzca una invasión galáctica. Tipler razona que las sondas de Von Neumann son una forma altamente eficaz de migración interestelar, desde un punto de vista tanto logístico como económico, y que, por consiguiente, su ausencia representa una versión aún más potente de la paradoja de Fermi. Es fácil imaginar razones por las que unos seres vivos prefieran evitar los viajes entre las estrellas (al fin y al cabo, se trata de un viaje muy largo); en cambio, no es tan fácil de entender por qué no habrían de viajar unas sondas de Von Neumann alienígenas.

El argumento de Tipler funciona sólo si aceptamos su premisa mayor, que es que *no hay* máquinas de Von Neumann en el sistema solar. ¿Podemos estar seguros de que es así? Obviamente podemos descartar la posibilidad de que las máquinas de Von Neumann se multipliquen hasta infestar el sistema solar. Pero para una estrategia menos agresiva, la situación no está tan clara. Como ya he explicado en el capítulo anterior, son muchos los lugares donde podría esconderse una pequeña máquina inerte sin que nosotros lo sepamos. Aun así, resulta difícil entender el propósito de un programa de este tipo que no sea el de establecer contacto con la vida inteligente indígena. Y en ese caso, ¿por qué ese inquietante silencio?

¿Dónde se meten los turistas temporales?

Hay una curiosa versión temporal de la paradoja de Fermi que encontró su expresión más célebre en 1992, cuando Stephen Hawking preguntó: «¿Dónde se meten todos los turistas temporales del futuro?». ^[6.4] Hawking concluía de su ausencia que los viajes del futuro al pasado no están de moda. Debe admitirse que los viajes en el tiempo se sitúan en la frontera entre la ciencia y la ficción, un sueño tentador del que lo único que podemos decir es que todavía no se ha demostrado su imposibilidad. Nuestra comprensión actual de la naturaleza del tiempo se la debemos a la teoría general de la relatividad de Einstein, que parece permitir los viajes adelante o atrás en el tiempo. De hecho, el viaje en el tiempo ya lo hemos conseguido. Recibe el nombre de efecto de dilatación del tiempo, y puede demostrarse con la ayuda de relojes muy precisos. Todo lo que hay que hacer para llegar antes al futuro es moverse, cuanto más deprisa mejor. Por ejemplo, a un 99 por ciento de la velocidad de la luz, saliendo ahora se podría llegar al año 2100 de la Tierra en menos de trece años. No obstante, nuestros mejores cohetes no alcanzan siquiera un 0,002 por ciento de la velocidad de la luz, de modo que para nosotros el viaje en el tiempo queda reducido a cantidades miserables (microsegundos).

Volver del futuro es un reto mucho más difícil. Aunque en rigor la teoría general de la relatividad no lo prohíbe, viajar hacia atrás en el tiempo implica usar supertecnologías exóticas como los agujeros de gusano en el espacio. Los agujeros de gusano se asemejan a los agujeros negros en que ambos utilizan la gravedad para distorsionar el tiempo, pero mientras que un agujero negro es un viaje sin retorno hacia la nada, un agujero de gusano tiene una entrada y una salida, lo que permite al viajero atravesarlo y salir en algún otro lugar. Ahora la jarra fría de la realidad: los agujeros negros realmente existen, pero no hay pruebas de que existan agujeros de gusano. ^[6.5]

Para convertir un agujero de gusano en una máquina del tiempo se necesita imprimir una diferencia de tiempo entre las dos bocas del agujero, lo que requiere algunas manipulaciones nada triviales. Resulta que el tiempo que consume el proceso de imprimación es siempre mayor que la diferencia de tiempo conseguida. Por ejemplo, se necesitarían más de cien años para crear una máquina del tiempo que pudiera darnos acceso a un tiempo cien años antes. Como es obvio, no puede usarse un agujero de gusano para visitar un tiempo anterior a la fecha de construcción de la máquina. En este sentido, las máquinas del tiempo «reales» se apartan de la versión

imaginada por H. G. Wells. Visto así, no debe sorprender que en el año 2010 no haya en la Tierra turistas del tiempo procedentes del futuro de la Tierra. Aun así, ¿no podría haber alienígenas con supertecnología que posean máquinas del tiempo? Sus descendientes podrían visitarnos ahora desde el futuro, o podrían dejar las máquinas del tiempo a terrícolas del futuro para que éstos puedan hacer «historia real». Así las cosas, ¿la ausencia de turistas del tiempo nos dice que no existen alienígenas avanzados, o que el viaje hacia atrás en el tiempo es imposible, o que es teóricamente posible, pero prohibitivamente caro o peligroso? Todo lo que podemos concluir es que la posibilidad de viajar en el tiempo sólo empeora la paradoja de Fermi, pues abre la Tierra a visitantes (o invasores) no sólo entre nuestros alienígenas contemporáneos, sino también entre sus descendientes (o los nuestros). Además, con el viaje en el tiempo, el largo tiempo de desplazamiento entre las estrellas deja de ser relevante: ¡ET podría alcanzar la Tierra *antes* de salir! Los lectores interesados en saber más sobre los viajes en el tiempo pueden consultar mi libro *Cómo construir una máquina del tiempo*. Por fascinante que sea el tema, no me ocuparé más de ello en este libro: especular sobre los viajes por el espacio ya es bastante difícil.

Una huella cósmica

Por lo que atañe a la posibilidad de los viajes por el espacio, los futurólogos se dividen en dos bandos. Uno de ellos predice un futuro rosa en el que nuevos sistemas de propulsión y economías de escala proporcionarán un vigor renovado a nuestra exploración del espacio. Se establecerán colonias en la Luna, luego en Marte, tal vez en algunos asteroides, y con ellas nacerán nuevas industrias, impulsadas por intereses comerciales.^[6.6] A lo largo de las próximas décadas, los humanos se dispersarán por el sistema solar y más allá, cumpliendo así con su destino cósmico.

Los pesimistas no se creen nada de eso. Para ellos la exploración del espacio no es más que un extravío idiosincrásico y transitorio que tiene sus raíces en la política de la guerra fría y el ansia por alcanzar la «frontera superior». Ante los enormes costes de lanzamiento y los míseros beneficios comerciales de los viajes espaciales, es inevitable que los contribuyentes acaben por pagar la factura y que el programa espacial al completo vaya menguando hasta extinguirse. No importa que los resultados científicos que se obtienen gracias a la exploración del espacio sean inmensos; es un secreto a voces que el programa espacial de Estados Unidos se reduciría de forma drástica de no ser por los considerables intereses militares que lo impulsan. Cabe esperar, y aun dar por hecho, que en un siglo o dos un «nuevo orden mundial» acabe con la amenaza militar desde el espacio. Si eso ocurre, la exploración del espacio con naves tripuladas se convertirá en una víctima inevitable del concomitante «dividendo de la paz». Los signos de un menor interés ya se manifiestan en la reducción de los presupuestos de la NASA y otras agencias espaciales. No es difícil convencerse de que la presencia humana a gran escala en el espacio no durará más allá de una o dos décadas.

Sigo dudando de a cuál de las dos posibilidades, la optimista o la pesimista, debo conceder más crédito. Las dos son plausibles. En términos de la paradoja de Fermi, sin embargo, todo se reduce a lo siguiente. Fermi vivió en los albores de la era espacial, cuando era lógico creer que la exploración del espacio sería una extensión fluida de la exploración terrestre, y que crecería de forma exponencial junto con la ciencia, la tecnología y la economía global. Al fin y al cabo, Fermi y sus colaboradores acababan de construir la primera bomba atómica. Los cohetes impulsados por energía nuclear parecían estar a sólo un paso.^[6.7] Flash Gordon, el héroe de los cómics, regía el universo. En la actualidad, cuatro décadas después del último viaje a la Luna, los vuelos espaciales no parecen tan inevitables. Al pensar en

civilizaciones alienígenas, sería precipitado concluir a partir de unas pocas décadas de nuestro propio programa espacial que los viajes por el espacio son inevitables en una civilización más avanzada. No obstante, sería igualmente precipitado suponer que ninguna civilización alienígena se ha expandido nunca por la galaxia. Conviene recordar que, al pensar en la posibilidad de una tecnología extraterrestre, necesitamos adoptar una perspectiva que englobe un intervalo de tiempo muchísimo mayor que el de toda la historia humana.

Fermi descartó la existencia de alienígenas sobre la base de un modelo simplista de la migración, en la que los extraterrestres dejarían su planeta original y migrarían de forma sistemática por toda la galaxia, colonizando planetas por el camino. En este capítulo consideraré una variación sobre este tema que no es tan fácil de descartar: que los alienígenas llegaron a nuestro planeta, pero no se quedaron en él. No obstante, podrían haber dejado su huella. Durante cincuenta años el SETI ha estado motivado por la esperanza de que alguna civilización extraterrestre avanzada se manifieste por medio de sus emisiones de radio. Pero el inquietante silencio nos anima a reevaluar esa expectativa, y a considerar otras maneras en que la inteligencia alienígena podría dejar un rastro identificable. Como todo científico forense sabe, la conducta inteligente puede delatarse a sí misma de muchas maneras indirectas y sutiles, incluso cuando los sujetos en cuestión hagan un intento consciente por ocultar sus actividades. El universo es una plaza rica y compleja en cuya arena podrían yacer los signos de una inteligencia extraterrestre, enterrados en medio de una mezcla de datos de procesos naturales, y sacados a la luz solamente después de alguna ingeniosa pesquisa. Aunque nunca lleguemos a detectar una baliza o una señal deliberada de una civilización extraterrestre, tal vez podamos acumular las suficientes pruebas circunstanciales para convencernos de que no estamos solos en el universo. Pero para hacer progresos es esencial diseñar estrategias que vayan mucho más allá del SETI tradicional. «Nuestros experimentos todavía se dirigen a buscar el tipo de extraterrestre que hubiera satisfecho a Percival Lowell», admite el principal astrónomo de SETI, Seth Shostak.^[6.8] Una búsqueda más amplia de la tecnología alienígena debería incluir algo más que el uso de radiotelescopios, y de preferencia englobar el abanico completo de la ciencia moderna, desde la física de partículas hasta la astrofísica, pasando por la microbiología. En su sentido más amplio, la tecnología alienígena debería delatarse a sí misma por algún tipo de anomalía, algo de «aspecto sospechoso», fuera de lugar o de contexto. Podría ser algo pequeño, tal vez una perturbación menor, fácil de pasar por alto, pero que lleve la marca inconfundible de lo artificial. Como todavía no sabemos de qué puede tratarse, merece la pena mantener la mente abierta y ser tan imaginativo como sea posible.

Para hacerse una idea de *dónde* buscar, primero tenemos que hacernos una imagen detallada de cómo puede producirse la migración interestelar. Imaginemos

que las nuevas civilizaciones tecnológicas nacen al azar, aquí y allá, por toda la galaxia, y que algunas decaen, otras perduran, otras florecen, en un proceso que continúa durante miles de millones de años. ¿Qué pautas emergerían de este proceso? ¿Cuánto tardaría en llenarse la galaxia de migrantes? ¿Con qué frecuencia las civilizaciones vecinas se fundirían o se enfrentarían? Fermi fundamentó su paradoja en una simple analogía con las migraciones humanas. Los humanos modernos salieron de su hogar en África hace poco más de 100.000 años, y se extendieron con gran rapidez por todo el planeta, alcanzando lugares tan alejados como Tasmania, la Tierra del Fuego, las islas del Pacífico y los páramos del Ártico. El paso inicial era la colonización de un territorio virgen. A éste lo seguía un período de consolidación, tras el cual se reiniciaba la emigración desde la colonia en busca de más tierras desocupadas. Paso a paso, esta dispersión continuó hasta que todos los lugares accesibles del planeta quedaron habitados. Como los exploradores que triunfaban vivían para transmitir sus genes, la evolución darwiniana fijó en el acervo génico las ansias de conocer mundo, y por eso los seres humanos todavía sentimos (por lo menos algunos de nosotros) el impulso de escalar la siguiente montaña, viajar a la Luna o fundar colonias en Marte, aunque, en su gran mayoría, las personas ya no tienen ninguna necesidad de seguir desplazándose para sobrevivir. Muchos escritores de ciencia ficción han extrapolado nuestra historia y nos muestran a nuestros descendientes viajando a las estrellas, quizá estableciendo un poderoso imperio, impulsados hasta los confines de la galaxia por aquellos antiguos genes del ansia de conocer nuevos lugares y su callado imperativo de que «la hierba es más verde en el otro valle».

Sin embargo, la experiencia humana podría no ser relevante para la migración galáctica extraterrestre. Las motivaciones de los alienígenas inteligentes son un libro cerrado para nosotros. Sea lo que sea lo que los induce a expandirse, es poco probable que sea el producto de unos impulsos primitivos que confieren poco valor de supervivencia a largo plazo: sospecho que los genes en cuestión se habrían eliminado hace mucho tiempo del acervo génico mediante técnicas de ingeniería genética. Por lo que respecta a la inteligencia de las máquinas, nos encontramos en la oscuridad más absoluta. ¿Quién se atreve a conjeturar qué estrategias podrían programar unas mentes extraterrestres en unas sondas de Von Neumann, o cómo podrían evolucionar esas estrategias si las máquinas autorreplicantes poseyeran autonomía? Todo esto hace difícil imaginar qué circunstancias podrían llevar a una civilización extraterrestre a expandirse por el espacio, y si lo hiciese, de qué modo y hasta dónde. Aun en el caso de que la diáspora no venga motivada por impulsos biológicos («Tenemos que salir de aquí»), podría ser una conclusión racional («Una colonia en el planeta X sería un buen complemento para nuestra sociedad»). Para modelar la migración alienígena tenemos que partir de algo, y un buen lugar para empezar es la

máxima de que, si algo es bueno, más es mejor. Si una civilización crea algo de valor en su propio planeta (una cultura, un éxito tecnológico, una visión grandiosa; no tenemos que decidir qué), parece razonable pensar que la comunidad decida replicarlo en otro lugar. Y con esta modesta inversión en suposiciones, puede deducirse mucho con la ayuda de modelos matemáticos.

A lomos de la ola

Pocos sospecharían que el humilde filtro de una cafetera pudiera inspirar una rama entera de las matemáticas. Sin embargo, la teoría de la percolación, que recibe su nombre por analogía con el modo en que el agua percola entre los granos de café, se ha aplicado a problemas del mundo real tan diversos como la hidrología, la epidemiología y la ciencia de materiales. También se ha aplicado a la migración extraterrestre. El científico aeroespacial Geoffrey Landis produjo uno de los primeros modelos cuantitativos de percolación para predecir cómo podría expandirse por la galaxia una civilización extraterrestre.^[6.9] Landis hizo la razonable suposición de que el viaje entre estrellas (ya sea por organismos inteligentes, robots o ciborgs) es caro y difícil, y que el número de planetas desocupados apropiados para la colonización es probablemente pequeño. Con gran sensatez, rechazó la idea de un imperio galáctico bajo un control central: se necesitan 100.000 años para que una señal cruce la galaxia, así que el concepto de una cultura galáctica unitaria es ridículo, por muy popular que sea entre los fanáticos de la ciencia ficción. Es más realista imaginar un mosaico de culturas locales diversas que emergen a medida que evoluciona cada nueva colonia. Algunas colonias preferirán consolidarse mientras que otras decidirán expandirse con rapidez. Cada una puede tener sus propios objetivos y prioridades, que ignoramos del todo. Landis también supuso que los violentos enfrentamientos e invasiones de *La guerra de las galaxias* son extremadamente improbables. Esa suposición es, desde luego, discutible. Una comunidad tecnológicamente superior podría no tener ningún escrúpulo en desplazar a una inferior, del mismo modo que los europeos desplazaron a los nativos americanos y a los australianos de sus tierras. Pero si descartamos los Gengis Khan interestelares (o la paradoja de Fermi volverá para mordernos), se obtienen algunos resultados interesantes de los cálculos de Landis. Resulta que la pauta de dispersión es muy sensible a la fuerza del impulso por expandirse. Si la motivación cae por debajo de cierto valor crítico, el reinicio de la colonización comienza a ahogarse y el motor de la expansión acaba por calarse. En ese caso, la configuración final está formada por grupos compactos de colonias rodeadas de grandes regiones de territorio desocupado. Por encima del umbral crítico, esta pauta jaspeada da paso a una demografía más extendida. La expansión sólo se para cuando la galaxia queda saturada de colonos, pero incluso entonces quedan desocupadas algunas manchas. Alrededor del valor crítico, el estado final adopta una estructura fractal en la que aparecen regiones colonizadas y no colonizadas a todas las escalas

de tamaño (véase la figura 10).

Un aspecto poco realista del análisis de Landis es la ausencia de cualquier elemento de competitividad. Recientemente, Robin Hanson reparó esta limitación adaptando un modelo económico al problema de la dinámica de la colonización galáctica. La base del modelo es que la competencia inevitablemente configura la pauta de crecimiento. Hanson señala que sean cuales sean los motivos de una comunidad para expandirse, y sean cuales sean los parámetros como la velocidad de desplazamiento, el tiempo de consolidación de las nuevas colonias, el orden de prioridades y el nivel de los incentivos para continuar, siempre habrá una ola de migración *más rápida*. Dada una cantidad lo bastante rica de culturas diversas ansiosas por descubrir nuevos pastos planetarios, la frontera de avance de esta ola vendrá determinada únicamente por los efectos de selección competitiva. La ola se expandirá desde la comunidad original para invadir los territorios vecinos (que ya podrían estar ocupados por otras civilizaciones menos adelantadas o menos expansivas), y luego seguir avanzando. Es decir, la ola sigue avanzando. Los individuos o las comunidades se quedarán atrás, y a la primera ola la seguirán otras secundarias y más lentas a medida que se vaya agrandando la frontera del espacio. En este sentido, la ola de migración se asemeja más a una ola de la moda que a una estampida. Si una comunidad extraterrestre decide embarcarse en un proyecto de expansión de este tipo, y si tiene la tecnología y los recursos para hacerlo, cuesta imaginar qué podría pararla, aparte de la posibilidad de que los colonizadores se topen con otra comunidad que hace lo mismo, puesto que no existe (presumiblemente) ninguna norma que se imponga en toda la galaxia. La ola con la frontera más rápida está limitada, por supuesto, por la velocidad de la luz, pero no hay ninguna razón científica (a diferencia de los obstáculos que existen para la ingeniería práctica) que impida acercarse tanto como se quiera a esa velocidad límite.

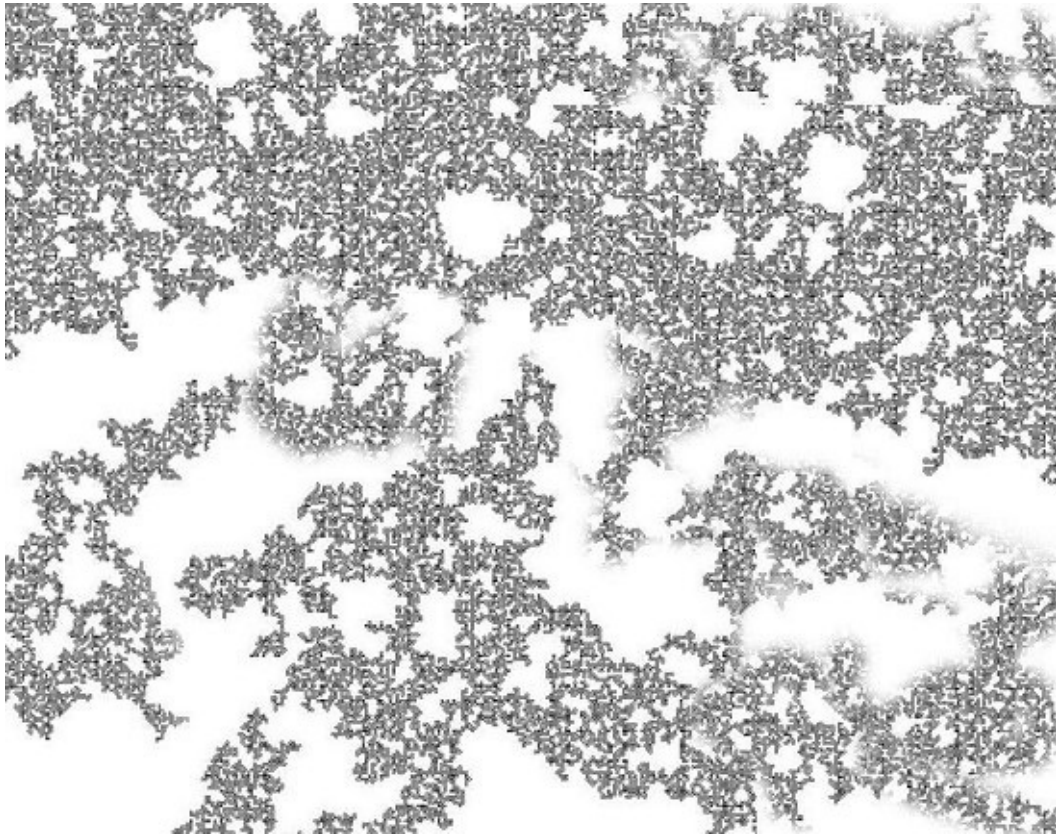


FIGURA 10. Estructura fractal generada por ordenador, basada en la teoría de la percolación. Las áreas rellenas representan lugares de colonización. Nótese la existencia de vacíos (territorio no ocupado) a todas las escalas de longitud.

Hanson descubre en su modelo matemático que la vida en la frontera es dura, como lo fue en el salvaje Oeste americano. El rápido crecimiento que se produce en los «oasis» de colonización tiene su otra cara en la rápida muerte entre los oasis: por término medio, sólo una «semilla» enviada por un oasis sobrevive y crea el siguiente oasis. Las «semillas» pueden ser, por ejemplo, arcas espaciales con colonos vivos, máquinas de Von Neumann o pequeñas sondas con células para incubarlas a la llegada. Sean lo que sean, Hanson llega a una descarnada conclusión: todo se reduce al poder de permanencia. «Un billón de semillas normales valen tanto como un millón de semillas el doble de penetrantes», concluye Hanson.^[6.10] Habrá un compromiso entre la velocidad y la supervivencia de las semillas; por ejemplo, una semilla de alta velocidad puede sufrir impactos más destructivos con el polvo estelar que un competidor más lento. Curiosamente, las colonias con tasas de crecimiento más altas tienen más éxito si esperan más antes de dispersar nuevas semillas. En cambio, en las colonias económicamente estancadas habrá más presión por moverse «a lomos de la ola», porque así obtendrán mayores ganancias (sean lo que sean esas ganancias: lo hermoso del modelo de Hanson es que eso no importa). Así pues, es posible que haya menos rezagados muy atrás de la ola de lo que la intuición nos podría llevar a pensar. A consecuencia de la fiebre del oro interestelar, algunos oasis potenciales se pasarán de largo, más de lo que podríamos esperar por analogía con la experiencia humana de colonización terrestre, pero en conformidad con los análisis

de Landis. Nuestro sistema solar podría estar en uno de esos oasis que la ola de colonización ha pasado de largo, una posibilidad que también resolvería la paradoja de Fermi.

Si los migrantes alienígenas fuesen organismos biológicos en lugar de máquinas, podría haber una razón más específica de por qué evitaron nuestro planeta. La Tierra ha albergado vida desde muy pronto en su historia, así que hay muchas probabilidades de que si ET paró por aquí, nuestro planeta ya estuviese repleto de microorganismos, y quizá de macroorganismos. En la ciencia ficción los humanos salen de su nave para pisar un planeta verde e instalarse sin más como si fuera un duplicado de la Tierra. Eso es ridículo. Las probabilidades de que una biología extraterrestre se parezca a la terrestre son muy bajas. Aun en el caso de que el ADN fuera la única molécula genética viable, no hay razón para que toda vida use para los enzimas los mismos aminoácidos y en combinaciones parecidas. Las formas de vida alienígenas y terrestres sencillamente no encajarían, así que los alienígenas no podrían comer nuestras plantas y animales. (Lo que, de paso, echa por tierra el argumento de esa mala ciencia ficción en la que los alienígenas nos buscan como fuente de alimento). Por otro lado, es improbable que los alienígenas sucumbieran a nuestros gérmenes (como pasaba en la novela de H. G. Wells, *La guerra de los mundos*). En lugar de ofrecer un incentivo para la invasión, la biosfera podría ser en realidad un inconveniente para los extraterrestres, salvo quizá por el oxígeno que ha liberado a la atmósfera. Es probable que para colonizar la Tierra tuvieran que construir hábitats enormes y caros, o eliminar completamente la biosfera indígena y reemplazarla con una biosfera alienígena, «terraformando» la propia Tierra. Así que, en contra de lo que dice la sabiduría popular, la rica y arraigada biología de nuestro planeta podría explicar por qué ET *no* está aquí.^[6.11]

En las simulaciones de Hanson faltan algunos escenarios menos apetecibles: por ejemplo, los colonos que no cooperaran con la comunidad podrían ser exiliados por la fuerza en naves lanzadas hasta los yermos galácticos, o expulsados de una colonia contra su voluntad en el equivalente que tengan en la era espacial de la condena a «caminar por la plancha». Esos marginados podrían vagar por la galaxia como «piratas» o merodear discretamente en las aguas muertas astronómicas. Peor aún, podrían mutar y evolucionar hasta convertirse en asesinos despiadados que viajen sin control por el espacio causando estragos, lo que los aficionados a la ciencia ficción conocen como «berserkers». La aplicación de la teoría de juegos a estas competiciones entre «los buenos y los malos» en un contexto galáctico podría arrojar variaciones interesantes de los simples resultados de la teoría de la percolación.

¿Pasó por aquí la ola?

Si el frente de una ola de colonización o exploración alienígena hubiera barrido nuestra región de la galaxia hace mucho, mucho tiempo, ¿habría dejado rastros? Como es obvio, si hubo una ola de expansión, los alienígenas (que podrían haber sido organismos biológicos, máquinas, híbridos, mezclas o cualquier otra entidad, véase la página 204), por definición, debían estar intentando aprovisionarse de algo; exactamente qué, no lo sabemos. Sea lo que fuere, si existe en cantidad finita (y debe ser así, pues de lo contrario los alienígenas habrían satisfecho sus necesidades en su propio planeta), entonces esa Cosa Deseada habría acabado por agotarse, y en ese momento es probable que se abandonase la colonia. Para entonces el frente de la ola debía de estar muy lejos. No tenemos la menor idea de cuándo podría haber pasado la ola; podría haber sido, por ejemplo, antes de que se formase el sistema solar hace 4.500 millones de años. Sobre esta cuestión conviene pensar en escalas de tiempo astronómicas, no humanas, lo que significa períodos de tiempo entre 10 millones y miles de millones de años. ¿Por qué? Bueno, la forma técnica de expresarlo es que no conocemos la distribución de probabilidad de las visitas de alienígenas en función del tiempo, de modo que una primera aproximación razonable es que ésta es uniforme. Lo que este argot significa es que, a falta de buenas razones para pensar de otro modo, la época actual no tiene nada de particular, así que es igual de probable que los alienígenas lleguen a nuestra parte de la galaxia en, digamos, los próximos 1.000 años que en cualquier otra ventana de 1.000 años en todo el intervalo de tiempo de la historia galáctica, que se mide en miles de millones de años.^[6.12] Así que si los alienígenas nos visitaron, con toda probabilidad eso ocurrió hace *mucho* tiempo. Es evidente que la probabilidad de que hayan pasado por aquí durante los últimos miles de años, dejando botellas, cables y vasos de plástico que nosotros podamos encontrar, es infinitesimal.

Supongamos, en cambio, que por nuestra región pasó hace muchísimo tiempo una ola que se desplazaba a una velocidad relativamente lenta; tal vez todavía se mueva por algún lugar, extendiéndose por la galaxia a decenas de miles de años luz de distancia. ¿Podríamos ver el frente de avance de la ola desde la Tierra? Tal vez, pero no está claro qué es lo que tendríamos que buscar. *Cualquier* tipo de anomalía o discontinuidad física con la forma de un muro sería un buen candidato. Por poner un ejemplo, tan simple como probablemente tonto, supongamos que los colonos de la frontera alimentan sus actividades con la energía obtenida de la fisión nuclear, y se

deshagan de los residuos (de una forma muy eficaz) lanzándolos hacia la estrella del sistema que los alberga. En ese caso habría un rastro de radioisótopos de vida corta en las estrellas cercanas al frente en movimiento, con un salto brusco en el margen de avance y una intensidad que decaería de manera paulatina hacia la retaguardia del frente (a causa de que los núcleos radiactivos tienen vidas medias finitas). Esta pauta peculiar y distinguible aparecería en los espectros de las estrellas de esa región de la galaxia. Otra posibilidad (igualmente especulativa) es que los alienígenas recojan algún material de las estrellas masivas antes de que estallen, demorando de este modo su final. De ser así, las supernovas estarían distribuidas irregularmente por la galaxia, suprimidas en algunas regiones sin razón aparente, pero serían habituales en otras regiones. Si esta pauta estuviera asociada a espectros inusuales en estrellas situadas por detrás del margen de avance, podría ser un indicio de las actividades de alienígenas. Por desgracia, las supernovas son tan raras que tardaríamos miles de años en construir una prueba estadística. [6.13]

En lugar de intentar detectar el margen, podríamos buscar pruebas de que la ola pasó por el sistema solar, o al menos cerca, en el pasado. A lo mejor los alienígenas se llevaron algo que debería estar aquí, o dejaron algo que no debería estar. En términos toscos, eso se traduce en «saquearon el bien X y se deshicieron del residuo Y ». Los humanos hemos dejado muchos centros industriales en ruinas y contaminados, despojados de materias primas y abandonados como eriales. ¿Podríamos identificar un X e Y alienígenas?

No hay indicios evidentes de actividades industriales alienígenas en la propia Tierra: no conocemos ninguna mina, cantera o chatarrería de 10 millones de años de antigüedad. Por supuesto, las cicatrices de la industria no durarían tanto tiempo en nuestro planeta, así que no está claro hasta qué punto esos indicios podrían ser detectables o, si se diera ese caso, mostrar un aspecto artificial. [6.14] Por ejemplo, si descubriéramos un cráter triangular, aunque ahora estuviera enterrado, sería un fuerte indicio de artificialidad. Los geólogos han encontrado en nuestro planeta cientos de cráteres, tanto sobre la superficie como bajo tierra, pero hasta ahora todos han sido aproximadamente redondos, que es la forma natural que crean tanto los impactos cósmicos como las erupciones volcánicas. Hay una extraña anomalía geológica en Gabón (África), conocida como reactor nuclear natural Oklo. Se trata de una formación rocosa de buen tamaño con un contenido en uranio inusualmente elevado que al parecer alcanzó el punto crítico hace unos 2.000 millones de años, produciendo una reacción nuclear en cadena autosostenida y generando una gran cantidad de calor y radiación, cuyos productos todavía pueden detectarse en la actualidad. Oklo es ciertamente una reliquia geológica insólita, pero implicar en ello a una ingeniería nuclear alienígena es un poco forzado. No obstante, ilustra el tipo de anomalía que podríamos buscar.

El plutonio ofrece una posibilidad más prometedora. Este elemento radiactivo se produce durante las reacciones nucleares, y se encuentra en los residuos de las centrales nucleares y en la deposición atmosférica tras una explosión nuclear. Permanece en el medio en concentraciones progresivamente menores durante millones de años. Si alguna vez encontramos un antiguo depósito de plutonio (en la Tierra, o en cualquier otro lugar del sistema solar), el hallazgo constituiría un indicio fuerte de una tecnología nuclear extraterrestre.^[6.15] Mediante técnicas de datación radiactiva, podemos incluso averiguar cuándo se produjo el proceso de ingeniería nuclear. Otra característica geológica sospechosa sería un depósito mineral de tamaño, forma, localización o composición que hiciera pensar en un antiguo vertedero, sobre todo si se encuentra enterrado en un lugar que no resulte natural. Todas estas sugerencias son conjeturas cogidas por los pelos, desde luego, pero lo que quiero resaltar es que nadie (que yo sepa) ha hecho un análisis sistemático de los registros geológicos en busca de anomalías que pudieran indicar una mano alienígena.

Fuera de la Tierra, las posibilidades se multiplican. Satélites, cometas y asteroides pueden haber servido como fuente ideal de materias primas para una tecnología extraterrestre con el atractivo adicional de ser medios con una baja gravedad en la superficie. El hallazgo de túneles o puentes formados con precisión en uno de estos cuerpos delataría un origen artificial. Rarezas menos espectaculares podrían aportarnos indicios de actividades mineras: por ejemplo, montañas de escoria o (una vez más) cráteres de forma extraña. Curiosamente, Eros, uno de los primeros asteroides que se han estudiado en detalle, ¡tiene algunos cráteres cuadrados! La nave *NEAR Shoemaker* los fotografió en el año 2000. Pero en este caso hay una explicación natural. Las líneas de falla rectas son un rasgo geológico común, y allí donde se cruzan con un ángulo más o menos recto, puede formarse una depresión de forma cuadrada. Una apuesta más segura sería buscar cráteres en espiral, del tipo que se hacen en la minería a cielo abierto para que los vehículos desciendan haciendo una curva. En la Tierra, los cráteres en espiral se erosionarían muy pronto y parecerían redondos, pero en un asteroide o sobre la Luna la forma *espiral* sobreviviría mucho más tiempo.

Una señal más sutil de la minería, o de la recolección de recursos, podría encontrarse en la química y la morfología de los desechos. Por ejemplo, si se utilizasen explosivos nucleares para romper en pedazos un asteroide, los fragmentos podrían llevar consigo indicios en forma de superficies fundidas de forma característica, como un trozo de trinitita que guardo, recogido en el lugar del primer ensayo con una bomba atómica en Alamogordo, en Nuevo México. Si alguna vez se descubriera un meteorito con trazas de isótopos radiactivos inusuales, también eso podría constituir un indicio de que la roca habría sido arrancada por una explosión

nuclear.

Uno de nuestros planetas ha desaparecido

Centrémonos ahora en el escenario *X*, la ausencia anómala de algo. Qué tal esto: los alienígenas pasaron por nuestra parte de la galaxia hace mucho tiempo recolectando cometas por su contenido en agua y materia orgánica. Es una estrategia bastante plausible, hasta el punto de que incluso nuestros futurólogos del espacio la toman en consideración. El agua de un cometa puede someterse a electrolisis para utilizar el hidrógeno en un reactor de fusión nuclear. Una ventaja adicional es que los cometas están enriquecidos en deuterio, o hidrógeno pesado, que es un combustible nuclear especialmente bueno. Los hidrocarburos que constituyen una parte del polvo de las «bolas de nieve sucia», como se describe a veces a los cometas, pueden usarse para producir diversos materiales sintéticos, y como fuente de alimento. La mayoría de los cometas tienen su origen, según se cree, en la llamada nube de Oort (por Jan Oort, el astrónomo que propuso su existencia), que está formada por un billón de pequeños cuerpos helados situados más o menos a un año luz del Sol. Es probable que otras estrellas tengan sus propias nubes de cometas a distancias parecidas. Como estos remotos cometas «durmientes» están ligados a sus estrellas madre de forma bastante laxa, constituirían fuentes ideales de materias primas para los viajes interestelares, eliminando la necesidad de que las naves espaciales penetren en el hondo pozo gravitatorio de la estrella para luego tener que salir con esfuerzo.

De vez en cuando una perturbación gravitatoria envía uno de esos cometas desde la nube de Oort en dirección al Sol, siguiendo una trayectoria elíptica y alargada; es entonces cuando atraviesan encendidos el cielo nocturno ofreciéndonos su conocido espectáculo. Pero también hay una probabilidad considerable de que la perturbación gravitatoria lance el cometa en el sentido contrario, impulsándolo hacia el espacio interestelar. Si el sistema solar es típico y otras estrellas también tienen nubes de cometas, algunos de los cometas que eyecten deberían venir en nuestra dirección y entrar en el sistema solar. Si un cometa extrasolar nos hiciera una visita, lo distinguiríamos por viajar por una órbita hiperbólica en lugar de elíptica, es decir, yendo demasiado rápido para venir de la nube de Oort. Hasta el momento no se ha visto ningún cometa así, lo cual es un tanto intrigante. Quizá nuestras estrellas más cercanas tengan pocos cometas por alguna razón. ¿Los robó todos ET? Si las exploraciones astronómicas del futuro revelan un empobrecimiento *sistemático* de cometas en algunos sistemas estelares pero no en otros, podría sugerir un proceso de

recolección. De modo parecido, si se encuentra una población de cometas muy empobrecida en deuterio (algo que podemos determinar a partir del espectro del cometa), podría indicar que se han explotado para la obtención de combustible nuclear.

¿Podría una tecnología alienígena requisar planetas enteros y romperlos para obtener materias primas? Hay todo un abanico de masas desde los cometas, pasando por los gélidos planetesimales, los planetas menores como Plutón y las lunas como Titán, hasta llegar a los planetas terrestres y los gigantes. Si ET puede secuestrar cometas, ¿por qué no uno de esos cuerpos de mayor tamaño? El físico y futurólogo de la Universidad de Princeton Freeman Dyson ha especulado sobre esa posibilidad con su propuesta de las «esferas de Dyson» (de las que hablaremos enseguida). Pero ¿cómo se rompe en pedazos un planeta? Eso, desde luego, no es tan fácil. La energía total necesaria para hacer añicos la Tierra, por ejemplo, es equivalente a la energía total producida por el Sol durante varios días. Hacer chocar contra el planeta otro planeta no funcionaría; de hecho, eso es lo que pasó cuando la proto-Tierra fue golpeada por un cuerpo del tamaño de Marte hace unos 4.500 millones de años. La capa más externa se desprendió (y se convirtió en la Luna), pero el resto del material se mezcló formando un planeta *mayor*. Una idea interesante para desmontar planetas es la propuesta por el escritor Greg Bear en su apocalíptica novela de ciencia ficción *La fragua de Dios*.^[6.16] Bear cuenta la historia de una civilización alienígena que libera máquinas autorreplicantes de Von Neumann que escapan a su control, y barren la galaxia destruyendo planetas. El ingenioso truco que utilizan estos desalmados saqueadores consiste en disparar hacia la Tierra una enorme masa de «neutronium» (una hipotética bola de neutrones que posee densidad nuclear), seguida de una masa equivalente de antineutronium (su contrapartida de antimateria). Las dos masas bajarían en espiral hacia el núcleo de la Tierra, donde al fin se aniquilarían entre sí, liberando la energía suficiente para hacer explotar el planeta y arrojar al espacio a sus desventurados habitantes.

Todo lo cual me lleva a una persistente historia de la era espacial que dice que el cinturón de asteroides situado entre Marte y Júpiter podría estar formado por los restos de un planeta que de un modo u otro explotó. Es cierto que hay un curioso «vacío» allí donde podría haber habido un planeta, pero la masa total de los asteroides no es suficiente para constituir un planeta entero. La explicación convencional es que la mayor parte de los fragmentos rocosos de esta región del sistema solar fueron arrancados de allí por la poderosa atracción gravitatoria de Júpiter, impidiendo así que se formara un planeta, pero podríamos especular que una antigua supertecnología reventó el planeta, se llevó lo que le interesó, y luego siguió su camino, dejando atrás las escorias, que formaron el cinturón de asteroides.

En lugar de tomarse la molestia de partir en dos un planeta ya formado, tal vez a

unos alienígenas rapaces les haya resultado más fácil interceder antes de que los planetas acaben de agregarse, apoderándose de todo lo que les interese y dejando la escoria. Podrían obtenerse indicios de este tipo de recolección selectiva en el hallazgo de sistemas planetarios con una composición química o física anómala. En la actualidad, los astrónomos todavía no entienden el proceso de formación de los planetas lo bastante bien como para identificar tales anomalías, pero con la creciente lista de planetas extrasolares que se están descubriendo, pronto podrá subsanarse esa limitación. Se conoce cierto número de sistemas estelares en los que el proceso de formación de planetas se está produciendo en este momento; podrían ser un buen lugar para buscar signos de astroingeniería alienígena a gran escala.

En principio, debería ser posible para una supertecnología llevarse un planeta entero manipulando la naturaleza caótica de algunas órbitas planetarias. Comenzando por una explosión nuclear para desviar un pequeño asteroide y llevarlo a colisionar con un cuerpo mayor, una serie de meticulosas maniobras podrían tener un efecto gravitatorio acumulado y amplificado durante un tiempo dilatado. Poco a poco, la órbita de un planeta podría llegar a desestabilizarse lo suficiente para salir disparado fuera del sistema planetario. Encuentros posteriores con otras estrellas proporcionarían la oportunidad de darle otros empujones gravitatorios, incrementando de este modo su velocidad. El planeta secuestrado podría utilizarse entonces como una práctica arca espacial para atravesar la galaxia, una idea prefigurada por Olaf Stapledon en su clásico de ciencia ficción de 1973, *Hacedor de estrellas*.^[6.17]

Nos falta algo exótico

Los planetas no son lo único que puede echarse en falta. Los físicos teóricos son auténticos maestros en el arte de predecir cosas que podrían existir, pero que no parecen estar ahí. Partículas subatómicas exóticas con nombres caprichosos como neutralinos, materia de sombra y axiones adornan el léxico de los teóricos, pero todavía no se han manifestado en el laboratorio. En el otro extremo de la escala de masas están los miniagujeros negros, las estrellas de quarks y la textura cósmica, por nombrar unos pocos. ¿Nos los ha hurtado ET? Está claro que tenemos que ser muy cautos antes de considerar la culpabilidad de los alienígenas. Recordemos la regla de Bayes: la hipótesis de que los alienígenas son la explicación correcta de la ausencia anómala de algo es sólo tan buena como la probabilidad a priori de que exista una supercivilización extraterrestre. Esa probabilidad puede ser muy baja. En cambio, la probabilidad a priori de que la teoría del profesor A sobre tal o cual partícula, o la predicción del Dr. B de tal o cual objeto astronómico, sea errónea puede ser mucho mayor.

Algunas de las partículas «faltantes» podrían acabar por aparecer; por ejemplo, podría ser que formaran parte de la famosa materia oscura que impregna el cosmos pero todavía tiene que ser identificada. También es posible que los teóricos se hayan dejado llevar por su entusiasmo. A pesar de todo ello, algunas predicciones no confirmadas son bastante robustas. Un caso muy a cuento es el de las partículas conocidas como monopolos magnéticos, de los que necesitamos una explicación. Los imanes normales y corrientes siempre son «dipolos», con un polo norte en un extremo y un polo sur en el otro extremo. Un monopolo magnético, si es que existe, sería un N o un S aislado. No se puede fabricar un monopolo simplemente partiendo por la mitad una barra de imán; así sólo se consigue tener dos dipolos, con un nuevo N y un nuevo S en los extremos opuestos al corte. Pero la física tiene un lugar estupendo para los monopolos magnéticos en su archivo de las matemáticas. Al fin y al cabo, las cargas eléctricas se presentan en forma de monopolos (+ y -), y el electromagnetismo es por lo demás completamente simétrico entre electricidad y magnetismo. El físico británico Paul Dirac desarrolló una teoría de los monopolos magnéticos en la década de 1930, e incluso calculó su supuesta «carga» magnética. Más tarde, en la década de 1970, los físicos teóricos redescubrieron el concepto de los monopolos magnéticos mientras intentaban formular una descripción unificada del electromagnetismo y las dos fuerzas nucleares, unas teorías que se conocen con

un acrónimo conciso: GUT (de «Gran Teoría Unificada», en inglés). Durante años se han llevado a cabo búsquedas directas de monopolos magnéticos en depósitos de mineral de hierro, los fondos marinos, los rayos cósmicos e incluso en rocas lunares. Todo para nada. En 1982 se produjo una memorable falsa alarma cuando un físico de la Universidad de Stanford, Blas Cabrera, creyó haber encontrado un monopolo con la ayuda de una técnica ingeniosa. Cabrera tenía un anillo de alambre que había hecho superconductor enfriándolo hasta cerca del cero absoluto. Si por azar un monopolo pasara por el agujero del centro del anillo, generaría una abrupta corriente eléctrica. Más aún, la teoría de Dirac nos dice exactamente qué magnitud debería tener esa corriente, y ése es el valor que Cabrera afirmó haber registrado. Por desgracia, sus resultados nunca fueron confirmados, y acabaron por explicarse como un error en su equipo.

Una característica distintiva de los monopolos magnéticos de las GUT es su enorme masa, que de acuerdo con las predicciones debería ser mil billones de veces mayor que la de un protón, lo que los haría más pesados que una bacteria. Con una masa como ésa, no es de extrañar que no se hayan producido en el laboratorio, pues la energía requerida sería extraordinaria. Pero ¿y en el Big Bang que dio origen al universo hace 13.700 millones de años? Allí sí que había energía para dar y tomar. A finales de la década de 1970, los cosmólogos comenzaron a darse cuenta de que el universo debería estar a rebosar de monopolos magnéticos primordiales, generados por el enorme calor liberado una fracción de segundo después de que el universo recibiera la orden de comenzar. Su enigmática ausencia ha llevado a Alan Guth, del MIT, a proponer una solución drástica. Lo que Guth propone es que tal vez el universo dio un salto brusco de tamaño en un factor de billones y billones justo después de que se produjeran los monopolos, diluyendo de este modo su densidad hasta unos niveles prácticamente no observables. Llamó a esta explicación de los monopolos faltantes «inflación» (para distinguirla de la expansión cosmológica habitual, menos frenética). Pronto se descubrió que la inflación también explicaba muchos otros misterios, y hoy forma parte del modelo estándar del universo primigenio. Pero la teoría de la inflación ha sido desafiada por algunos cosmólogos. Aunque tiene muchos defensores y hay buenas observaciones en su favor, aún está lejos de ser definitiva. Así que el misterio de los monopolos faltantes todavía no está resuelto.

No podemos estar seguros de que la falta de monopolos sea universal; tal vez sólo se vea afectada nuestra región de la galaxia. ¿Debemos echarle la culpa a los alienígenas? ¿De qué les servirían los monopolos magnéticos? Pues bien, cabe pensar que los monopolos magnéticos podrían ser *la* fuente de energía preferida de cualquier supercivilización que se respete. La razón es que *N* y *S* no sólo tienen carga opuesta, en términos magnéticos. Además son entre sí antipartículas, lo que quiere decir que

cuando se encuentran neutralizan su magnetismo y se aniquilan, liberando su masa en forma de energía (otra vez $E = mc^2$). Podríamos tener un frasco de nortes en un extremo del laboratorio y un frasco de sures es el otro extremo, y cuando estemos preparados los mezclamos y... ¡bum! La explosión sería varios trillones de veces mayor por gramo de material que la fusión termonuclear (que se usa en las bombas de hidrógeno).^[6.18]

Si la falta de monopolos magnéticos se explica por consumo de alienígenas (y no por inflación), ¿podríamos detectar indicios de las explosiones que acabamos de describir? A lo mejor sí. La energía se liberaría en forma de partículas subatómicas más ligeras, entre ellas el humilde electrón, así como su opuesto de antimateria, el positrón. Recientemente, se ha detectado un flujo de electrones y positrones de alta energía procedentes del espacio, gracias a un instrumento colgado de un globo sonda que se ha llevado hasta 37 kilómetros de altura por encima de la Antártida.^[6.19] El origen de estas partículas ha hecho que algunos astrofísicos se rasquen la cabeza. Podrían provenir de un púlsar hasta ahora desconocido, o de algo más oscuro, como la aniquilación de materia oscura. Hasta ahora, nadie ha sugerido las emisiones de una fábrica alienígena impulsada por reactores de monopolos...

Otro ejemplo de una predicción teórica de hace bastante tiempo, pero todavía sin verificar, es la llamada cuerda cósmica, un tubo ultradelgado lleno hasta los topes de energía con tan gran concentración que un solo kilómetro de longitud tendría un peso mayor que la Luna. Como los monopolos magnéticos, es posible que las cuerdas cósmicas fuesen un producto del Big Bang. Son tan pesadas que su gravedad desviaría los rayos de luz procedentes de galaxias distantes, creando unas características imágenes dobles. De vez en cuando algún astrónomo afirma haber descubierto cuerdas cósmicas, pero luego la evidencia se desvanece; si existen o no, sigue siendo una pregunta sin respuesta. Una cuerda cósmica podría almacenar aún más energía que un par de monopolos magnéticos. De hecho, la cuerda es un nanotubo que atrapa la colosal energía primordial que tenía el universo una billonésima de billonésima de billonésima de segundo después del Big Bang. Si hubiera modo de extraer esa energía de una forma controlada (por ejemplo, encogiéndolo un lazo cerrado de cuerda hasta el tamaño cero), los alienígenas no tendrían que preocuparse por su factura de la luz durante mucho tiempo. Muchos físicos y cosmólogos se toman muy en serio las cuerdas cósmicas, y su aparente ausencia es para algunos motivo de decepción y perplejidad.^[6.20] Los monopolos magnéticos están más firmemente establecidos en la teoría que las cuerdas cósmicas (aunque nacen de conceptos similares), así que su peculiar ausencia exige con más fuerza una explicación.

En este capítulo he restringido la discusión a la exploración y colonización galáctica, pero una civilización suficientemente avanzada y motivada podría

expandirse hasta galaxias cercanas, y con el tiempo a todo el cosmos observable. Incluso si el universo que observamos en este momento no ha sido «ocupado» todavía por una o más supercivilizaciones, queda mucho tiempo en el futuro para que eso ocurra. Quién sabe, igual nuestros descendientes participarán en esa gloriosa aventura cósmica.

MAGIA ALIENÍGENA

*Cualquier tecnología lo bastante avanzada sería indistinguible
de la magia.*

Arthur C. Clarke

Señales características de una supertecnología distante

Si algún día topamos con una tecnología alienígena muy superior a la nuestra, ¿nos daremos siquiera cuenta de lo que es? Pensemos en la impresión que les causaría el láser o la radio a una tribu de la selva que nunca hubiera estado en contacto con el mundo exterior. Ahora imaginemos una tecnología un *millón* o más de años por delante de la nuestra: es muy posible que nos pareciera milagrosa. Y eso le plantea al nuevo SETI un grave problema: ¿Cómo podemos buscar las señales de una tecnología alienígena cuando no tenemos la menor idea de cómo podría manifestarse? En el capítulo anterior sugerí algunas maneras en que una civilización avanzada que se extienda por la galaxia podría dejar un rastro de su actividad. Pero todos los ejemplos que di se basaban en extrapolaciones de la física humana del siglo XXI, y por tanto están teñidas de antropocentrismo. ¿Y si la tecnología alienígena se basa en principios que se encuentran mucho más allá de la comprensión de nuestros mejores científicos?

Una manera de abordar este problema consiste en considerar efectos físicos muy generales, efectos que podrían esperarse incluso de una tecnología «mágica». En 1964 el astrónomo ruso Nikolai Kardashev propuso una medida de lo avanzada que es una tecnología alienígena basándose únicamente en el consumo de energía. Es cierto que este criterio tan propio de la industria pesada de la era soviética no es más que otro ejemplo de lo provinciano que puede ser el SETI. En la actualidad quizá le diéramos más importancia a los terabytes que a los megavatios; mañana, ¿quién sabe? No obstante, hay una buena razón para quedarse con el sistema de Kardashev cuando consideramos una tecnología alienígena que podría estar muy lejos de la Tierra. Dadas las limitaciones actuales de nuestros instrumentos, es probable que sólo lográsemos detectar una industria extraterrestre si produjese una gran huella energética.

Kardashev definió una civilización de tipo I como aquella que utiliza todos los recursos energéticos de su planeta de origen para impulsar su industria. Una civilización de tipo II requiere la producción total de energía de su estrella madre, mientras que una de tipo III necesitaría una galaxia entera para realizar sus proyectos. A esto podemos añadir un tipo IV: una civilización que toma el control del cosmos entero. Hasta el momento no hay ningún indicio de civilizaciones de Kardashev del tipo que sea, aunque el tipo I sería difícil de detectar. El tipo II es un caso interesante, porque utilizar la producción total de energía de una estrella (que no es poca broma)

sin duda dejaría señales inequívocas. Freeman Dyson sugirió en 1959 una de las maneras en que una civilización podría conseguirlo.^[7.1] Inspirado por la novela *Hacedores de estrellas*, de Stapledon, Dyson concibió la construcción alrededor de una estrella de una cápsula esférica de materia con un radio similar al del planeta en órbita, hecha de un denso enjambre de partículas diseñadas para recoger toda la luz y el calor emitidos por la estrella mientras brille. Compárese esta opulencia con la irrisoria mil millonésima parte de la energía producida por el Sol que intercepta la Tierra. El material de construcción se extraería de planetas y asteroides, que se explotarían para erigir las estructuras necesarias. La construcción sería, desde luego, una empresa colosal, pero en teoría posible. Una esfera de Dyson alteraría de forma drástica el espectro de luz de la estrella encofrada, creando un resplandor infrarrojo fácilmente detectable que unos astrónomos inquisitivos podrían identificar, incluso desde el otro extremo de la galaxia. De hecho, ya se ha iniciado una búsqueda de esferas de Dyson a través del análisis de la base de datos del Satélite Astronómico de Infrarrojos (IRAS, en sus siglas en inglés), hasta el momento sin éxito.^[7.2]

Una civilización de tipo II capaz de reconfigurar un sistema planetario podría tomar en consideración una opción más atractiva, que originalmente exploró John Wheeler, el físico que acuñó el término *agujero negro*. Wheeler imaginó la construcción de una cápsula de materia alrededor de un agujero negro en rotación, una estrategia que ofrece claras ventajas frente a las esferas de Dyson. En primer lugar, los agujeros negros no tienen la desagradable costumbre de agotarse en el transcurso de unos pocos miles de millones de años (a fin de cuentas, son los restos de estrellas que ya se han agotado). En segundo lugar, son el vertedero ideal para los residuos indeseados: todo lo que cae en un agujero negro es tragado de forma irreversible y aniquilado para siempre. En tercer lugar, pueden utilizarse para el lanzamiento de naves espaciales a una velocidad sensiblemente cercana a la de la luz (véase más adelante). Por último, un agujero negro puede liberar mucha más energía de la que nunca podrá producir una estrella por fusión nuclear. El secreto de la prodigiosa energía de un agujero negro radica en su rotación. Todas las estrellas giran, y cuando el núcleo de una estrella se colapsa formando un agujero negro, la rotación aumenta de una forma drástica a consecuencia de la ley de conservación del momento angular. Se han observado estrellas de neutrones jóvenes (unos objetos que por poco no son agujeros negros) girando a la fantástica velocidad de cientos de revoluciones por segundo. Un cuerpo en rotación contiene más energía que uno estático, y como la masa y la energía son equivalentes, se puede expresar la energía de rotación como una fracción de la masa total. En el caso de un agujero negro, hasta un 29 por ciento de su masa total puede estar en forma de energía de rotación, y en teoría se puede extraer y utilizar la fracción entera. Este 29 por ciento hay que compararlo con el miserable 1 por ciento de la masa que una estrella típica irradia en

forma de luz y calor, acumulado a lo largo de sus miles de años de vida. Obviamente, la rotación de los agujeros negros representa una auténtica cornucopia de energía. Si lo que uno quiere es energía en su máxima expresión, la encontrará en los agujeros negros.

Sobre la base de cálculos realizados por Roger Penrose, Wheeler concibió la curiosa posibilidad representada en la figura 11, en la que unos vagones cargados de residuos industriales se dirigen a lo largo de una trayectoria cuidadosamente calculada hacia un agujero negro en rotación. Cuando entran en una región cercana a la superficie del agujero (que técnicamente se conoce como ergosfera), se hace posible una notable transformación. Los vagones vierten su contenido de tal modo que los residuos son devorados por el agujero negro. Para determinadas trayectorias, los vagones vacíos resultan impulsados hacia fuera de la ergosfera a gran velocidad, saliendo con más masaenergía de la que tenían a la ida los vagones cargados. La energía adicional tiene que venir de algún lado, y de hecho proviene de la energía de rotación del agujero; cada vez que se realiza el truco de los vagones, la velocidad angular del agujero negro se reduce un poco. Los tiempos de abundancia no durarán para siempre; tarde o temprano se habrá extraído toda la energía de rotación y la civilización se verá obligada a mudarse apresuradamente a otro lugar. Pero con los niveles actuales de consumo de energía de los humanos, un agujero negro podría satisfacer nuestras necesidades durante al menos un billón de billones de años. Hasta donde yo sé, ninguna de las búsquedas del SETI se ha dirigido a los agujeros negros, quizá porque son difíciles de detectar.

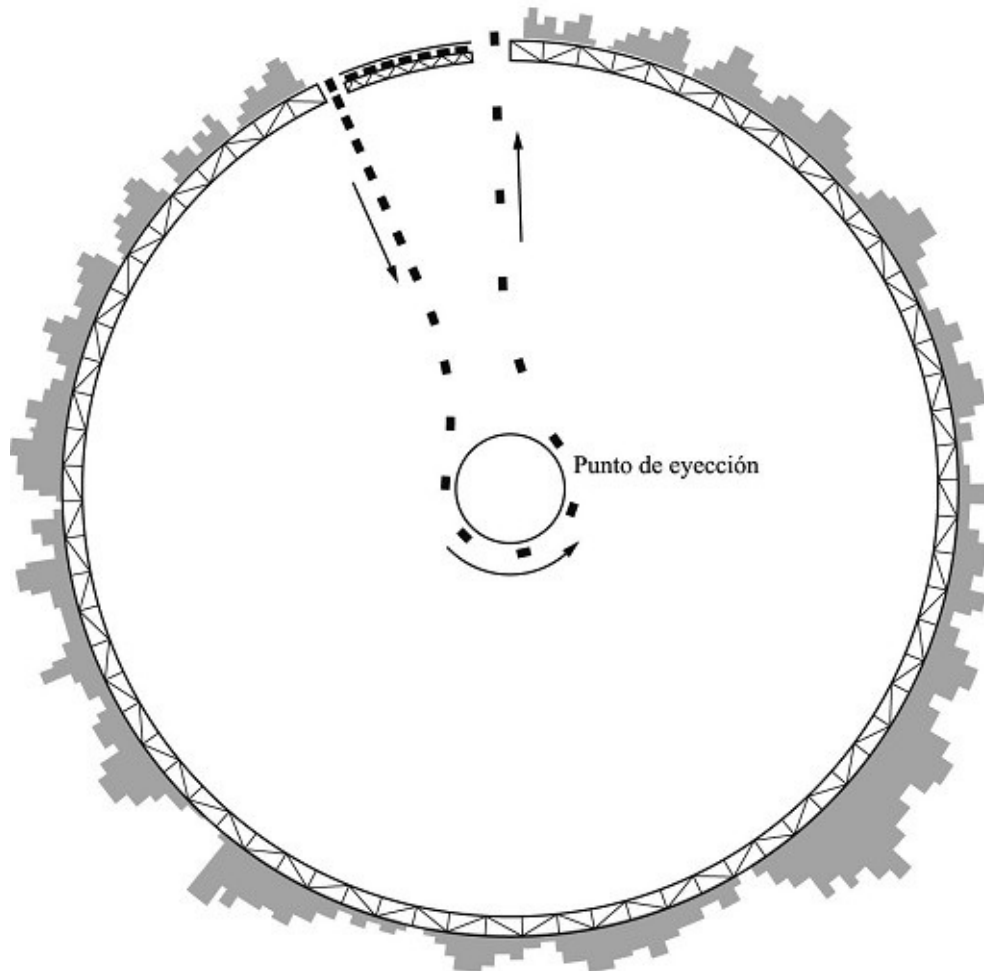


FIGURA 11. Representación caprichosa de un sistema para extraer energía de un agujero negro en rotación.

La tecnología como «naturaleza-plus»

Para ir más allá de los indicadores toscos de la actividad tecnológica extraterrestre, como el uso de energía y recursos, andamos a tientas buscando un punto de referencia que nos resulte familiar, con la inevitable tentación de caer en la trampa de la experiencia humana. Incluso la ciencia ficción nos presenta una ingeniería alienígena análoga a la nuestra. En la película de 1980 *Hangar 18*, por ejemplo, se investiga un platillo volante por el simple procedimiento de apretar algunos botones para ver qué pasa. La nave gigante de *Independence Day* va equipada con consolas de ordenador de los años 1990, sin cortafuegos, a pesar de ser el producto de más de un millón de años de tecnología. Aun en la más cuidada ciencia ficción, los artefactos alienígenas pueden asimilarse a *máquinas* en el sentido del término en el siglo XX: forma geométrica regular, fabricados con metal o algún sustituto superior, a menudo inertes salvo que se accionen deliberadamente, y contruidos a una escala de tamaño habitual para nosotros. Pero la tecnología alienígena avanzada no tiene por qué ser así. De hecho, al reflexionar sobre las actividades de una superinteligencia vale la pena liberar la mente de todo tipo de preconcepciones. Para ayudarnos a hacerlo, pensemos en una hipotética tecnología alienígena que:

- No está hecha de materia.
- No tiene forma o tamaño fijos.
- Carece de límites o topología bien definidos.
- Es dinámica a todas las escalas de espacio y tiempo.
- O, a la inversa, no parece hacer nada en absoluto que nosotros podamos discernir.
- No consiste en cosas diferenciadas y separadas, sino que es un sistema, o una sutil correlación de cosas a un alto nivel.

Estamos tan unidos al concepto humano de la máquina como pedazos de metal con botones y palancas, o como información que se procesa (como en los programas de ordenador), que se nos hace difícil conceptualizar una tecnología que implique niveles superiores de manipulación. ¿A qué me refiero con eso? Una máquina

convencional como un coche mueve materia de una forma organizada. Por otro lado, la tecnología de la información mueve *información* de una forma organizada. Por ejemplo, en mi ordenador, Photoshop puede girar una imagen. Cuando eso ocurre, la materia también se mueve (los electrones en los circuitos del ordenador), pero no reconoceríamos la tecnología en acción observando los electrones, sino a través de la imagen completa.

Una manera de pensar en la información es como un concepto a un «nivel más alto» que la materia. El nivel superior se sostiene en el nivel inferior, pero lo trasciende. Así, un programa de ordenador (un concepto abstracto) requiere de manera invariable una máquina física que lo sostenga: los bits de información que dan vueltas por el interior de un ordenador, o los datos sensoriales en el cerebro, necesitan interruptores o neuronas. Lo que ahora planteo es lo siguiente: ¿son estos dos niveles conceptuales, materia e información, los únicos? Hace quinientos años el concepto mismo de un dispositivo que manipule información (un programa de ordenador) hubiera resultado incomprensible. ¿Es posible que exista un nivel aún *más alto*, y fuera de toda experiencia humana, que organice la información del mismo modo que el procesado de información organiza electrones? De ser así, ese «tercer nivel» nunca sería evidente en nuestras observaciones hechas al nivel de la información, y mucho menos en las realizadas al nivel de la materia. No disponemos de vocabulario para describir el tercer nivel, pero eso no significa que no exista, y tenemos que estar abiertos a la posibilidad de que una tecnología alienígena actúe en el tercer nivel, o quizá en el cuarto, el quinto, o algún nivel superior.

Para pensar de forma creativa sobre este tema, debemos mantenernos alerta incluso ante nociones como «control», «manipulación» y «diseño», pues también éstas son categorías humanas que quizá sean perecederas. La separación arbitraria de los objetos en «naturales» y «artificiales» es algo que damos por sentado, pero como debatiré en el siguiente capítulo, no es más que una distinción cultural. La tecnología es, en el sentido más amplio, mente, inteligencia o propósito mezclados con la naturaleza. Y lo que es más importante, los dispositivos tecnológicos no subyugan a la naturaleza: todavía obedecen las leyes de la física. La tecnología se *sirve* de las leyes, pero no las invalida. Así que decir que una radio, un láser o un obelisco en la Luna «no son naturales» no significa que no sean parte de la naturaleza. La mejor manera que se me ocurre para expresarlo es que la tecnología es naturaleza-plus. (El arte también es naturaleza-plus). El valor que añade la tecnología es una amalgama muy específica de limitación y liberación, especialmente obvia con relación a la realización de objetivos concretos. Una lavadora no puede hacer pan, pero puede hacer algo que la naturaleza sin modificar no puede hacer, a saber, lavar, enjuagar y centrifugar la ropa, que es para lo que está diseñada. Un ordenador no puede volar, pero puede demostrar el teorema de los cuatro colores, que no es algo que la Madre

Naturaleza tenga pensado hacer en ningún lugar, que yo sepa. Sin embargo, y ésta es la cuestión central que quiero establecer, la tecnología de *ese* tipo (nuestro tipo) podría ser tan sólo *una* de las maneras en que la naturaleza se convierte en naturaleza-plus. Podríamos pasar totalmente por alto, sin reconocerla ni apreciarla, una forma más sofisticada de naturaleza-plus, aunque la tuviéramos delante de las narices.

Una máquina se caracteriza por poseer cierta relación entre las partes y el todo: los componentes cooperan de una manera sistemática para realizar una función global. William Paley es el autor de la célebre analogía entre un reloj y un organismo vivo, observando que ambos consisten en un sistema completo y coherente de partes con dependencias mutuas, una concordancia que hoy se explica por la evolución darwiniana.^[7.3] Pero la funcionalidad biológica y la de una máquina representan sólo una de las maneras en que pueden interrelacionarse las partes y los todos de una forma especial e inusual. De hecho, ya conocemos otro ejemplo: los sistemas cuánticos. La mecánica cuántica es el logro máximo de la física del siglo xx; el abanico de sus explicaciones y predicciones contrastadas se extiende desde la física de partículas a la cosmología, con un recorrido muy amplio entre estos dos extremos. Los principios de la mecánica cuántica subyacen al láser, el transistor, los imanes superconductores y muchos otros elementos de la tecnología humana. Esta teoría explica casi todo, desde el Big Bang hasta la energía nuclear o la electricidad. Así que tenemos que tomar muy en serio sus predicciones.

Una de las predicciones de la mecánica cuántica es que una parte sólo está definida adecuadamente con relación al estado del todo del que es parte. Esta descripción, que parece inspirada en la filosofía zen, puede entenderse mejor con un ejemplo. Un átomo puede comportarse como onda y como partícula. Aislado, no es ninguna de las dos de manera específica; su estado no está decidido. Pero situado en el contexto de un sistema mayor, su naturaleza intrínsecamente ambigua puede resolverse. He aquí cómo. Podemos construir un tipo de microscopio que determine la posición de un átomo particular, llamémosle *A*. Tras la medición, *A* será «un átomo que ocupa un lugar». Alternativamente, podemos construir un aparato que ponga de manifiesto la naturaleza ondulatoria del átomo, en cuyo caso *A* será «un átomo con una velocidad» (una onda cuántica describe el átomo como dotado de un momento o impulso específico). El aspecto crucial es que, de acuerdo con la teoría cuántica, *A* no puede ser *al mismo tiempo* «un átomo que ocupa un lugar» y «un átomo con una velocidad». Cuál de estos dos aspectos, onda o partícula, de la identidad dual de *A* se manifiesta depende del tipo de aparato con el que interacciona, es decir, de la disposición de su entorno. Ahora bien, el sistema «átomo *A* más aparato» es también un conjunto de átomos, así que la configuración y el estado particulares de todos los átomos tomados en su conjunto sirve para definir la naturaleza del átomo individual *A*. Y eso es cierto en general: todos los átomos que interaccionan con sistemas más

grandes están definidos en parte por la totalidad de los átomos, mientras que, a su vez, esa totalidad está compuesta de las partes. Se han hecho muchos intentos por expresar esta interdependencia «hacia arriba y hacia abajo» entre las partes y el todo en los sistemas cuánticos. Niels Bohr lo compara con el yin y el yang. David Bohm lo describió como un «orden implicado».^[7.4] Más recientemente se lo ha llamado «extrañeza cuántica».

La extrañeza cuántica, los organismos vivos, las mentes y las máquinas diseñadas nos dan ejemplos en los que todos y partes se interrelacionan de formas distintas. Sería ingenuo suponer que la lista anterior es exhaustiva. Puede haber muchas maneras en que las relaciones todo-parte pueden diferir de nuestra experiencia. Al fin y al cabo, hace cien años, ¿quién hubiera sospechado que los átomos se comportaban *así*? Una tecnología alienígena realmente avanzada podría manifestarse a través de una forma de interrelación todo-parte completamente nueva. Y del mismo modo que la extrañeza cuántica sólo se revela con aparatos muy especiales, la tecnología extraterrestre podría pasarnos inadvertida e insospechada simplemente porque no la estamos viendo con el equivalente de..., en fin, un interferómetro con divisor de haz de condensado de Bose-Einstein.

Superciencia fantástica

El nuevo SETI exige un incómodo compromiso entre la necesidad de pensar en la tecnología extraterrestre de la manera más imaginativa y creativa posible, y la cautela necesaria para no cruzar la frontera, a menudo borrosa, entre la ciencia legítima y la ciencia ficción. Los escritores de ciencia ficción no suelen tener problema para jugar de una forma laxa y alegre con las leyes de la física, mezclando ciencia, especulación asentada en la ciencia y pura fantasía. Eso está bien: tienen la licencia literaria de su lado. Pero una evaluación científica del SETI tiene que ser más rigurosa.

Tomemos por caso ese irritante obstáculo para los viajes espaciales, la velocidad finita de la luz, que se ha interpuesto en tantas buenas tramas de ciencia ficción. Como ya he explicado, la teoría de la relatividad de Einstein prohíbe que nada rompa la barrera de la luz, así que si entendemos las leyes de la física correctamente, ni las naves ni los mensajes pueden ir más rápido que la luz. Las distancias entre estrellas se miden en *años luz* (la distancia que la luz tarda un año en recorrer), lo que implica que los viajes interestelares no son realistas durante la vida de un hombre, a no ser que se puedan alcanzar velocidades cercanas a la de la luz. Aun entonces hay problemas. A, digamos, la mitad de la velocidad de la luz, una nave se arriesgaría a muchos peligros, como el impacto con micrometeoritos que explotarían como bombas contra su superficie. Esas complicaciones pueden ser tan terribles que los viajes interestelares a alta velocidad pueden no llegar a realizarse nunca en la práctica. No obstante, también es posible que una comunidad tecnológica avanzada llegue a resolver los problemas prácticos; por ejemplo, detectando los micrometeoritos en su curso y destruyéndolos con un láser antes del impacto. Así que los viajes a una velocidad cercana a la de la luz pueden ser una proposición más o menos realista, pero son una especulación legítima porque no violan los fundamentos de la física.

Otra manera de cruzar el espacio deprisa, tan cara a la ciencia ficción, es la teleportación. Bastaría con escanear algo (como un ser humano) y «teletransportar» la información al destino, donde el objeto es reconstruido. Así se hace en la serie *Star Trek*, como una forma barata de llevar a los astronautas a la superficie de los planetas y de vuelta a la nave (también hace que la trama avance más rápido). ¿Es la teleportación ciencia válida? Hasta cierto punto, sí. Mientras no se produzca más rápido que la luz, alguna forma de transferencia de información podría ser posible. En

realidad, los físicos ya han conseguido una forma limitada de teleportación, en la que la información sobre el estado de una partícula cuántica se transfiere entre estaciones de campo con la ayuda de láseres. Pero, como bien señala Lawrence Krauss en su libro *The Physics of Star Trek*, hay razones fundamentales para pensar que escanear cada átomo de un cuerpo y reensamblarlo en el otro lado toparía con obstáculos tecnológicos insuperables.^[7.5] Para empezar, almacenar el contenido total de información de un cuerpo escaneado requeriría una pila de discos que se extendería hasta una tercera parte de la distancia al centro de la galaxia. Quizá no sea físicamente imposible, pero probablemente sea demasiado caro incluso para una supercivilización galáctica. Mala suerte, Scotty.

En *Contacto*, Carl Sagan propone un agujero de gusano como forma de mover a sus héroes por el espacio casi al instante. Los agujeros de gusanos, que son algo así como puertas estelares, también son una propuesta popular para el viaje en el tiempo (véase la página 157). No parece que violen ninguna de las leyes de la física que conocemos, pero la existencia de un agujero de gusano requeriría una prodigiosa cantidad de un tipo de materia exótica que sólo se sabe que existe en cantidades ultramicroscópicas.^[7.6] A no ser que descubramos una nueva fuente de esa materia exótica, los agujeros de gusano largos y transitables seguirán siendo ficción.^[7.7]

Los lectores que crean que les estoy aguantando la fiesta deben animarse. Aunque sigamos estando limitados por las leyes de la física aceptadas, todavía es posible concebir todo tipo de posibilidades que desafían a nuestra mente. ¿Qué tal unos ingenieros alienígenas que gracias a su alta tecnología se instalan en el interior de mundos vaciados o en tubos con forma de anillo? ¿O sociedades en colmena compuestas por una maraña de hebras magnéticas que conforman complejos patrones de plasma que se extienden por el espacio interestelar, como unos termiteros cósmicos hechos de gas ionizado? ¿O unos seres hechos de pura energía gravitatoria que reconfiguran el espacio-tiempo en formas extrañas? Eso no significa, por supuesto, que hayan de convertirse en realidad. Los extraterrestres podrían estar interesados en embarcarse en proyectos ambiciosos de este tipo, o podrían impedirselo consideraciones políticas o económicas, o incluso éticas. Aun así, podemos seguir imaginando estas fantásticas empresas, y preguntarnos si presentarían un conjunto de señales detectables desde la Tierra.

Fallos en las leyes

Los ejemplos que he discutido en la sección anterior pertenecen a la categoría de las especulaciones que, en la superficie, parece que se ajustan a nuestro conocimiento de la ciencia, pero que en la práctica pueden plantear retos tan formidables que nunca lleguen a implantarse. Cuando se fuerza hasta esos límites la física legítima, es inevitable que surja la cuestión de si la ciencia humana del siglo XXI es tan fiable como para aplicarse a una civilización extraterrestre mucho más avanzada que la nuestra. ¿Y si las leyes que conocemos tienen fallos? ¿Podemos tener una certeza *absoluta* sobre, por ejemplo, la velocidad de la luz?

Comencemos por reconocer que hay leyes y leyes. En la escuela secundaria los niños aprenden la ley de Ohm de la electricidad, que dice que la corriente que atraviesa una resistencia aumenta de manera proporcional al voltaje aplicado. Pero la ley de Ohm no es una ley fundamental; de hecho, no sirve para ciertos materiales que Ohm ni siquiera imaginó. Por otro lado, la ley de que nada se mueve más rápido que la luz es fundamental y universal, y es posible que nunca llegue a ser negociable. El problema es que en cada momento de la historia, los científicos sólo pueden enunciar las leyes de la física de acuerdo con su mejor conocimiento. ¿Quién sabe si algún avance en el futuro demostrará que alguna de nuestras más queridas leyes falla en determinadas circunstancias? En la ciencia, nunca se dice la última palabra; siempre queda un margen para la revisión a la luz de nuevas observaciones. Todo lo que uno puede afirmar es que algunas leyes están mejor establecidas que otras.

Un caso a propósito de esto es la segunda ley de la termodinámica, que bien podría ser la ley más fundamental del universo. Se aplica absolutamente a todo, sin excepciones. En pocas palabras, dice que en un sistema cerrado la entropía (el desorden) nunca puede disminuir. Traducido a un ejemplo simple, la segunda ley prohíbe que el calor fluya de manera espontánea (es decir, sin consumo de energía) de un cuerpo frío a uno caliente. El astrofísico británico Arthur Eddington lo expresó de forma dramática:^[7.8] «Si se descubre que su teoría va en contra de la segunda ley de la termodinámica, no hay para ella ninguna esperanza: se hundirá en la más profunda humillación». Así pues, cuando especulemos sobre la superciencia extraterrestre, la segunda ley de la termodinámica siempre tiene que ser la última ley que violentemos. Y eso echa por tierra otra idea popular: alimentar una nave espacial «explorando el vacío cuántico» para obtener energía. Me explico. Cuando la mecánica cuántica se aplica a un campo electromagnético, además de explicar cómo interacciona la luz y la

materia, la teoría predice una cosa realmente notable: que una región del espacio desprovista de toda materia y toda luz (o sea, sin ninguna partícula del tipo que sea) todavía poseerá algo de energía. La energía irreducible del espacio vacío recibe el nombre de «energía del vacío cuántico». Y realmente existe. Puede detectarse en forma de una diminuta fuerza de atracción entre superficies de metal. Los astrónomos también han medido algo de lo mismo a una escala cosmológica, aunque le han dado un nombre más misterioso: «energía oscura». Ésta es la responsable de que el universo se expanda cada vez más rápido.^[7.9] La energía oscura o del vacío está ahí, con una densidad de unos pocos julios por kilómetro cúbico. ¿Sería posible extraerla para impulsar una nave espacial, por ejemplo usando una enorme pala para recoger la energía oscura del vacío y luego convertirla en electricidad para un propulsor de plasma? Esta estrategia eliminaría la necesidad del combustible para los cohetes, pues en el espacio hay un montón de vacío a nuestra disposición.

Por desgracia, un propulsor de vacío cuántico no funcionaría por la misma razón por la que las máquinas del movimiento perpetuo del siglo XIX eran callejones sin salida: se viola la segunda ley de la termodinámica. En el siglo XIX, algunos inventores especularon con la posibilidad de propulsar un barco con el calor del océano. Al fin y al cabo, el agua del mar contiene más de un millón de julios de calor por litro, simplemente porque su temperatura está unos cuantos cientos de grados por encima del cero absoluto. ¿No podría utilizarse toda esa energía para mover una turbina? La respuesta es que sí, pero sólo si hay un sumidero de calor a una temperatura inferior a la de la fuente. Las bombas de calor se basan en la extracción de energía durante la transferencia de calor desde un compartimento caliente a otro frío. Lo esencial es que tiene que haber diferencial de temperatura en algún lugar. Lo mismo pasa con el vacío cuántico: si hubiera un estado de vacío de menor energía adonde pudiera transferirse la energía oscura, no habría problema con los propulsores interestelares. Pero por lo que sabemos no existe ningún estado de menor energía, y si lo hubiera, la naturaleza ya lo habría cortocircuitado, con terribles consecuencias para el universo.^[7.10] Conclusión: a falta de un sumidero de energía, no puede usarse el vacío cuántico para propulsar una nave espacial.

La levitación es otro dispositivo habitual en la ficción. Atrapó mi imaginación desde el momento en que leí sobre la «cavorita», la útil sustancia anuladora de la gravedad del Dr. Cavor, en la novela de H. G. Wells *Los primeros hombres en la Luna*. ¡Sería fantástico arrumbar de una vez por todas con esos contaminantes cohetes y simplemente presionar un botón para flotar serenos hacia las estrellas! Pero me temo que esa propuesta tampoco va a ninguna parte. Esta vez el obstáculo es que la cavorita viola uno de los principios fundamentales de la ley de la gravitación, que requiere que todas las formas de materia y energía caigan igual de rápido y en la misma dirección (o sea, hacia abajo). Galileo fue el primero en descubrirlo, y

Einstein lo incorporó a su teoría general de la relatividad como un principio fundamental. Sin él, nuestra comprensión del espacio, el tiempo, la astrofísica y la cosmología se desmoronaría, así que los científicos no están dispuestos a renunciar a este principio así como así. Teóricamente, la levitación podría conseguirse con la ayuda de la misma energía del vacío cuántico que acabamos de comentar, pero en la práctica esa energía se encuentra en cantidades tan minúsculas que no puede vencer al efecto mucho mayor que tiene la gravitación sobre la materia.^[7.11]

Especular sobre supercivilizaciones que hacen superciencia y utilizan supertecnología es muy entretenido, pero conviene atemperarlas con un sano escepticismo. No hay duda de que la ciencia del siglo XXI es incompleta y provisional, pero todavía representa la vía más fiable hacia el conocimiento, y nos brinda un rico acervo de sabiduría y experiencia acumuladas a lo largo de varios siglos de meticulosas investigaciones. En la búsqueda de inteligencia extraterrestre, merece la pena adoptar una actitud pragmática y quedarnos con nuestra ciencia actual como la mejor guía de que disponemos, al tiempo que nos mantenemos abiertos a la posibilidad de que el futuro nos deparé sorpresas. Es posible que en el futuro se demuestre que alguna parte de nuestra ciencia básica es errónea, pero si a la hora de reflexionar sobre la tecnología alienígena adoptamos la posición de que todo vale, todo lo que obtendremos será anarquía especulativa sin ningún valor predictivo. Tal vez los extraterrestres pueden viajar a más velocidad que la luz o teleportarse por el espacio, o levitar, o conseguir (lo más probable es que no) que el calor fluya al revés, de lo frío a lo caliente. Pero entonces nos situaríamos en un mundo de fantasía, y más valdría que nos olvidáramos del todo del SETI.

INTELIGENCIA POSTBIOLÓGICA

Las máquinas nos están ganando terreno; día a día nos hacemos más dependientes de ellas

Samuel Butler (1863)^[8.1]

Si se les concedieran plenos derechos, los estados se verían obligados a proporcionarles todas las prestaciones sociales: seguro de desempleo, vivienda y posiblemente alguna robosanidad pública para arreglar las máquinas con el tiempo

Robo-rights
informe del Departamento de Comercio e Industria del Reino Unido^[8.2]

Encuentros en la absurda fase

Hace cincuenta años yo era un adolescente y no sabía nada sobre el SETI. Mi imagen mental de un extraterrestre le debía mucho a Mekon, el cabecilla de los Treens del Norte de Venus, el gran enemigo del perfecto héroe Dan Dare, de la Alianza de la Tierra. Al menos así es como lo presentaba el cómic *The Eagle*. Suponía entonces que si las historias de platillos volantes eran ciertas, sus ocupantes serían, igual que el Mekon, humanoides cabezones (lo que implicaba un gran cerebro) con un cuerpo encogido y atrofiado (porque ya no importaba). Evidentemente no era el único que lo creía así, pues los supuestos testigos de ovninautas solían describirlos como enanos calvos con cabeza grande y unos ojos enormes de mirada fija, una imagen tan arraigada que se ha convertido en un cliché (figura 12). Steven Spielberg reforzó esa representación en las películas *Encuentros en la tercera fase* y *E.T.*, en las que los alienígenas parecen niños con el cerebro grande.

Es absurdo. Son muchas las falacias que subyacen a la representación popular de los alienígenas y que socavan la credibilidad de las noticias de encuentros con extraterrestres. La primera es suponer que la evolución en otro planeta debe asemejarse tanto a la que se ha producido en la Tierra que los seres inteligentes tienen que haber adoptado una forma humanoide. Puestos a suponer, los extraterrestres inteligentes podrían parecerse a ballenas o pulpos, o aves gigantescas, o a nada por el estilo: podrían tener un plan corporal que simplemente no existe en la Tierra y que nos parecería del todo extraño. Otra falacia es la extrapolación injustificada de la evolución darwiniana. El argumento más habitual dice así. Si lo que cuenta es la potencia del cerebro y el resto del cuerpo se convierte en un impedimento, la selección natural actuará en el sentido de producir Mekons y ETs. Pero este razonamiento es erróneo. Cuando la tecnología progresa hasta el punto en que una comunidad puede elegir quién sobrevive y quién no, la selección natural pura se rompe. Cuando se realizan modificaciones genéticas deliberadas, el curso de la evolución pasa a determinarse por diseño. Otra cuestión es si una especie alienígena elige utilizar ingeniería genética para producir cerebros más grandes y cuerpos más pequeños. Quizá tengan razones éticas o de otro tipo para desistir. En la Tierra existe una fuerte resistencia ante las posibilidades de humanos genéticamente modificados, del mismo modo que la hubo contra los cultivos genéticamente modificados. No obstante, aunque la experimentación con genética humana es considerada anatema en

muchas sociedades, y en la mayoría es ilegal, esa prohibición es un tabú cultural específico de nuestro tiempo y nuestras circunstancias. Una vez más, debemos evitar el antropocentrismo que nos llevaría a atribuir los mismos recelos a las sociedades alienígenas.



FIGURA 12. Imagen popular del aspecto de un alienígena.

Una vez que una especie abraza la tecnología de la mejora, cabe esperar que se produzcan cambios muy rápidos. Podemos vislumbrar las posibilidades si pensamos en lo que podría pasarles a lo humanos si algún día se acaban los tabúes culturales. [8.3] Muchos futuristas ya están pronosticando el principio del transhumanismo, que implica una combinación de mejora genética, prostética, prolongación de la vida y aumento neurológico. Mucho de esto ya está pasando. La esperanza de vida ha ido aumentando al increíble ritmo de tres meses por año durante el último siglo, simplemente como resultado de la sanidad pública básica y los avances de la medicina. Las prótesis pronto alcanzarán e incluso superarán la calidad de los elementos originales; por ejemplo, las extremidades artificiales, y luego ojos artificiales, se conectarán directamente con el cerebro. Unos microchips implantados servirán para controlar sistemas electrónicos en nuestro medio. La utilidad de estos dispositivos se incrementará con partes del cuerpo orgánicas que se construirán a partir de células madre, y que en algunos casos se habrán manipulado genéticamente para mejorarlas. Se desarrollarán sistemas híbridos «natural-artificiales» u «orgánico-mecánicos», abriendo un abanico de posibilidades mayor que el que nos ofrece el reino biológico solo, y convirtiendo en realidad el concepto de ciborg, hoy restringido a la ficción. Es razonable esperar que toda especie inteligente que descubra la

biotecnología, la nanotecnología y la informática acabarán usándolas para mejorar sus capacidades físicas y mentales. En ese momento podría emerger una utopía en la que unos seres diseñados por ordenador disfruten de las mejores cualidades biológicas sin la inconveniencia de la enfermedad o la muerte prematura, el deterioro de la memoria o una pobre capacidad de razonamiento. Es fácil imaginar una sociedad extraterrestre que alcanza este idilio tras sólo unos pocos siglos de ciencia y tecnología.^[8.4]

Sin embargo, incluso después de todas las mejoras que acabamos de mencionar, los seres resultantes todavía podrían reconocerse como organismos biológicos, lo cual nos lleva a lo que probablemente sea la mayor de las falacias relacionadas con la expectativa de unos alienígenas parecidos a Mekon, o de hecho a cualquier imagen de extraterrestres de «carne y hueso». Al reflexionar sobre las civilizaciones extraterrestres tenemos que considerar marcos temporales de mucho más que los pocos siglos que pueden tardar en desarrollarse los avances tecnológicos antes mencionados, y entonces hay que enfrentarse a una posibilidad todavía más radical. En la Tierra la «inteligencia» suele asociarse con los homínidos, y tal vez de una forma más limitada con gatos, perros, delfines, ballenas, cefalópodos y aves. Sin embargo, es obvio que la toma de decisiones inteligente y el comportamiento no son exclusivos de los animales. No tienen por qué estar restringidos a la biología.

Inteligencia artificial

En 1952, Alan Turing publicó un artículo pionero en la revista *Mind* con un título provocador: «¿Pueden pensar las máquinas?».^[8.5] Turing extrapolo su experiencia de primera mano con la naciente industria de las computadoras e imaginó un tiempo en el que un dispositivo electrónico construido por el hombre podría imitar las respuestas humanas de una forma tan convincente que le atribuiríamos conciencia. Unos pocos años después, Isaac Asimov desarrolló este tema en su novela clásica *Yo, robot*. Durante los años 1960 la inteligencia artificial, o IA, comenzó a aparecer en proyectos comerciales y en la investigación universitaria, al tiempo que iba impregnando la cultura popular. En la película de Stanley Kubrick *2001: Una odisea en el espacio*, la supercomputadora HAL aparece retratada como un ser inteligente que compite con los humanos. Cuando se estrenó *La guerra de las galaxias*, las audiencias ya se habían acostumbrado a la idea de robots inteligentes que luchaban y trabajaban con los humanos como iguales, o incluso como seres superiores. En la actualidad, no nos cuesta nada aceptar que las computadoras puedan superar a los humanos en muchas tareas mentales. No hace falta mucha imaginación para creer que en unas pocas décadas nos superarán mentalmente en *todos* los sentidos. Muy pronto las máquinas inteligentes, las computadoras y los robots se ocuparán de muchas de las funciones que hoy realizan personas. Lo mismo podría ocurrirle a cualquier especie extraterrestre inteligente.

A la hora de imaginar de qué modo podría desarrollarse esto en un planeta alienígena, podemos pensar en los avances de la inteligencia artificial en la Tierra. El cerebro humano adulto contiene unos cien mil millones de neuronas conectadas formando una red tan densa que, por término medio, una neurona tiene más de 1.000 conexiones sinápticas, y a menudo muchas más. Normalmente, una neurona se activa unas 500 veces por segundo, así que si se activase todo el cerebro de golpe (una posibilidad puramente imaginaria), se producirían 40 billones de activaciones por centímetro cúbico de materia gris, lo que en el lenguaje de la informática corresponde a 40 teraflops. ¿Y las computadoras? Curiosamente, las supercomputadoras actuales también podrían alcanzar unos 40 teraflops por centímetro cúbico si se disparasen al mismo tiempo todos los interruptores. La gran diferencia es que la computadora consumiría varios megavatios para conseguirlo, mientras que el cerebro se las apaña con tres comidas al día. Si tomamos el cerebro como un todo, ejecuta alrededor de 10.000 billones de operaciones por segundo (una cifra todavía poco definida). La

supercomputadora más rápida llega a 360 billones, así que la Madre Naturaleza todavía lleva la delantera. Pero no por mucho tiempo. Si la ley de Moore se sostiene, la industria informática podría vender exaflops (un trillón de operaciones por segundo) hacia 2020 y zetaflops (mil trillones de flops) una década más tarde. Está claro que, medido en términos de potencia bruta de proceso, la supercomputación pronto superará al cerebro humano. Una vez cruzada esa línea, en principio la inteligencia artificial podría rivalizar con la inteligencia humana. Pero hay algunos serios obstáculos. Para empezar, la arquitectura neuronal del cerebro es totalmente distinta de la disposición de los circuitos en un ordenador. Además, todavía no acabamos de entender cómo deben ser los programas necesarios para gestionar todos esos frenéticos flops de forma que se pueda comparar con el intelecto humano. Y luego está la cuestión de las entradas sensoriales y el control motor.

En lugar de implementar la IA intentado construir desde cero un cerebro de silicio cuidadosamente programado, hay otro enfoque que se presenta de una manera natural. ¿Por qué no usamos toda esa extraordinaria potencia de computación para *simular* un cerebro? La distinción es crucial. En lugar de usar una computadora para *imitar* al cerebro, la programamos para modelar lo que ocurre en el interior de un cerebro *real*, desde la base. Así la computadora se convierte en un cerebro virtual (en contraposición a un rival artificial del cerebro). Es una posibilidad tentadora.

¿Sería posible en el futuro cercano modelar el cerebro humano *entero* en una supercomputadora? Según el neurocientífico computacional Henry Markram, que dirige el proyecto Blue Brain (cerebro azul) en Lausanne (Suiza), la respuesta es que sí. En este ambicioso proyecto cada neurona se modela matemáticamente mediante ecuaciones que contienen hasta 500 variables, lo que produce predicciones precisas del comportamiento de las neuronas individuales tras recibir estímulos electroquímicos. La arquitectura neuronal real se adopta entonces como una suerte de plano para «conectar» virtualmente las neuronas simuladas, creando así una red neuronal *in silico*. Si se hace bien, las pautas de actividad por la red de la simulación deberían reflejar de forma precisa las pautas que se observan en un cerebro real. En un estudio piloto, se conectaron digitalmente 10.000 neuronas y se utilizaron para modelar un componente de la corteza cerebral de los mamíferos, con resultados convincentes. Esto fue lo que incitó a Markram a incrementar la escala intentando simular el cerebro entero de un ratón de camino a la versión humana. Su objetivo es incorporar a su simulación computacional ¡un billón de conexiones sinápticas! Esa meta todavía está más allá de los recursos de computación del proyecto, pero con los avances en computación que cabe esperar para las próximas décadas, el sueño de Markram podría hacerse realidad a mediados del siglo, si no antes.

El proyecto Blue Brain plantea una fascinante pregunta filosófica. Uno de los misterios más profundos de la ciencia es la naturaleza de la conciencia;

específicamente, ¿cómo consigue generarla el cerebro? ¿Qué hay que hacer con un remolino de pautas eléctricas para conseguir un pensamiento, un sentimiento o una sensación de autoconciencia? Nadie tiene la menor idea. Pero si la simulación de Markram es buena, entonces, *por definición*, su simulación computacional no sólo será inteligente; será un *ser* consciente, con sensaciones y sentimientos. En suma, justo lo que Turing tenía en mente. Naturalmente, es muy posible que no podamos discernir de forma precisa *qué* características de la red de circuitos neuronales son responsables de la conciencia, aunque sin duda aprenderemos mucho cuando logremos simular el fenómeno paso a paso. Pero se plantea un problema ético. Si el supercerebro de silicio de Markram es un agente consciente, tendrá algunos derechos. Manipular el programa con el fin de averiguar que es lo que hace que «eso» funcione podría ser considerado, y con razón, inmoral. Conviene subrayar que el proyecto Blue Brain no es ningún intento macabro de fabricar un Frankenstein virtual. Al contrario, la motivación principal es la de aprender qué es lo que no funciona bien a nivel neuronal cuando el cerebro sufre un trastorno, como la enfermedad de Alzheimer o la de Parkinson.

Combinada con el análisis del genoma, la simulación del cerebro real nos brindará fantásticas posibilidades de diseñar, modificar y crear entidades con unas capacidades muy amplificadas de razonamiento, apreciación artística, estándares éticos, habilidad para la resolución de problemas, y tantas otras. Si la investigación con células madre iguala los progresos realizados en genómica y computación, un día será posible producir en el proverbial tanque no sólo riñones e hígados de repuesto, sino cerebros enteros, mejorados por modificación genética y diseñados por adelantado por neurocientíficos computacionales para que cumplan con determinados criterios de rendimiento. El siguiente paso consistirá en fusionar estos cerebros de diseño con materiales y circuitos no biológicos, multiplicando así lo que puede conseguirse sólo con la biología. Como en el caso de la nanotecnología y la biotecnología, una fusión de neurociencia biológica y no biológica borrará enseguida la distinción entre lo que es un cerebro y lo que es una computadora. Estos sistemas podrían crearse de forma que se omita de manera deliberada algunas cualidades humanas como la irritabilidad, la impaciencia o los celos, y alcanzarán tal nivel de pericia y competencia que aprenderemos a confiar en su juicio sobre un abanico cada vez más amplio de decisiones.

Es inevitable que en algún momento haya que conceder a estos agentes diseñados y fabricados algún tipo de autonomía para que funcionen con la máxima eficiencia, pues los meros humanos no podremos competir con ellos intelectualmente. En la ciencia ficción, este paso suele presentarse como una «toma de control» de los humanos por las máquinas, con la amenaza implícita de que las máquinas pueden volverse contra nosotros e incluso aniquilarnos. Pero eso es caer en la trampa de

antropomorfizar la inteligencia de las máquinas. No hay ninguna razón particular por la que las metas de humanos y computadoras no hayan de estar armonizadas. Liberados de los primitivos impulsos darwinianos como los de luchar o huir, la ira o la necesidad de procrear, es improbable que las computadoras autónomas vean a los humanos como una amenaza o una competencia (a no ser, claro está, que intentemos apagarlas).^[8.6]

¿Cuáles podrían ser las metas de las computadoras o robots? Como ahora entramos en un terreno muy especulativo, esta cuestión es casi imposible de responder. Inicialmente, los humanos crearían estas máquinas para que los ayudasen en sus propias actividades, y las máquinas podrían continuar haciendo eso, pero algún día hallarían cosas mejores con las que ocupar su tiempo, y sobre éstas no podemos más que conjeturar. Suponiendo que las máquinas quieran al menos asegurarse su propia supervivencia (como individuos, no procreando) y extender de algún modo su alcance, necesitarán sus propias herramientas. Como los humanos antes que ellos, las computadoras construirán máquinas para realizar diversos trabajos. Algunas de estas máquinas podrían ser similares a las nuestras: motores para mover materiales y maquinaria, dínamos para generar electricidad, telescopios para explorar el firmamento y buscar amenazas como asteroides en curso de colisión. Otras, sin embargo, serían biológicas. Un ejemplo obvio serían microorganismos para secuestrar y procesar minerales para la construcción. Otros microbios podrían diseñarse para modificar las condiciones físicas del entorno de las máquinas. También podrían diseñar y manufacturar organismos mesoscópicos (pequeños, pero no microscópicos) o incluso macroscópicos para desempeñar funciones especializadas, por ejemplo de mantenimiento, exploración y observación. Si las máquinas/computadoras fuesen sedentarias, estos complejos organismos serían sus ojos y oídos móviles, y viajarían por el planeta o serían enviados en misiones a otros planetas para recoger información.

Durante cientos de miles de años los humanos han manipulado su mundo con la ayuda de herramientas simples que mejoraban su supervivencia. Al principio el progreso era lento, y las herramientas se limitaban a lanzas y mazos. Con el desarrollo del lenguaje, las comunidades sedentarias y la agricultura, el ritmo se aceleró, produciendo el arco y las flechas, el uso de los metales, el arado y la rueda. No tardó mucho en llegar la Revolución Industrial, a la que le siguió la era atómica, la era espacial y la era informática. A lo largo de toda su historia, los humanos han utilizado la tecnología para mejorar su bienestar. Pero podemos prever un punto de inflexión en el momento en que se invierta esta larga relación entre los dominios biológico y no biológico. En lugar de que unas formas de vida como los humanos diseñen y construyan máquinas especializadas, las máquinas diseñarán y ensamblarán formas de vida especializadas. El testigo de la inteligencia, la tan importante «I» de

SETI, habrá pasado irrevocablemente al dominio de las máquinas. A partir de entonces, los organismos biológicos inteligentes ocuparán un rol subordinado. Gracias a la enorme robustez de la inteligencia de las máquinas, sus posibilidades de sobrevivir serán muy superiores a las de los humanos, o de cualquier otra entidad de carne y hueso. A las máquinas no les costaría hacerse inmortales, simplemente reemplazando sus partes por otras nuevas a medida que se vayan gastando. También podrían unirse formando máquinas mayores y mejores, y podrían funcionar bajo condiciones físicas mucho más extremas. Así, desde cualquier perspectiva, las máquinas ofrecen un repositorio para la inteligencia mucho más seguro y duradero que los cerebros.

Mi conclusión es asombrosa. Creo que es muy posible, incluso ineluctable, que la inteligencia biológica sea sólo un fenómeno transitorio, una fase efímera en la evolución de la inteligencia en el universo. Si alguna vez encontramos una inteligencia extraterrestre, creo que es muy probable que sea de naturaleza postbiológica, una conclusión con ramificaciones obvias y de gran alcance para SETI.

He visto a ET y es un SAT

La inteligencia humana no tiene más que unos pocos miles de años de existencia, dependiendo de cómo se defina. En un millón de años, si la humanidad no es aniquilada antes, la inteligencia biológica se verá apenas como la matrona de la inteligencia «real», la inteligencia potente, escalable, adaptable e inmortal que caracteriza al dominio de las máquinas. A partir de entonces, la inteligencia de las máquinas aumentará su potencia y capacidad de manera acelerada hasta que tope con los límites fundamentales impuestos por el entorno físico, sean los que sean. En ese momento, los megacerebros autocreados, cual dioses, intentarán expandirse por todo el universo. Por las mismas razones, podemos esperar que cualquier inteligencia biológica extraterrestre avanzada haya completado hace mucho tiempo la transición a la forma de máquina. Si alguna vez establecemos contacto con ET, no nos comunicaremos con humanoides como el Mekon, sino con un sistema diseñado para el procesamiento de la información.^[8.7]

Debo admitir que, lamentablemente, he caído en la tentación de utilizar un lenguaje poco preciso en las últimas páginas. Como ya he descrito anteriormente en este capítulo, las distinciones entre lo vivo y lo inerte, el organismo y la máquina, lo natural y lo artificial, están abocadas a desaparecer pronto. Denominar a las entidades extraterrestres «computadoras» o «máquinas» es confuso. Podrían ser híbridos con componentes orgánicos e inorgánicos mezclados, de modo que no serían organismos biológicos en el sentido usual de la palabra, pero tampoco serían seres inanimados, puesto que podrían crecer y regenerar componentes biológicamente. Se hace difícil decidir cómo habríamos de denominar a estas entidades, pues son ajenas a la experiencia humana. Su propiedad característica es que son el producto de un diseño, originalmente de humanos (en el caso de la Tierra futura) o de sus equivalentes extraterrestres (en el caso de una civilización alienígena). Más tarde serían autodiseñados y rediseñados. Serían sistemas con capacidad para crecer, mejorar y adaptarse, no por medio de un intrincado mecanismo darwiniano, sino por medio de su propia creatividad intelectual. El mejor término que se me ocurre, aunque no suena nada bien, es «supersistemas autoteleológicos» (SAT); el adjetivo implica la propiedad de un autodiseño orientado a un fin. Como la manipulación por medio del diseño es mucho más eficiente que el darwinismo, cabe esperar que, una vez desencadenado, el proceso de autodiseño sea muy rápido, incrementando enormemente la probabilidad de que la «I» de SETI sea dominada por SATs.

Mientras escribo estas extravagantes especulaciones, me siento curiosamente deprimido, nostálgico por adelantado de la identidad personal que tan característica es de la experiencia humana. Cada uno de nosotros tiene una impresión única del yo, el sentimiento de formar parte, pero como ser separado, de una comunidad formada por otros seres sintientes, y del universo. Sigue siendo un misterio de qué modo el cerebro genera la impresión de una identidad propia separada, y las experiencias subjetivas que la acompañan, igual que es un misterio la vía evolutiva que nos ha conducido a ella. Sin embargo, no hay ninguna razón objetiva para suponer que un SAT deba poseer una identidad personal de algún modo parecida a la nuestra.^[8.8] El poder de las computadoras radica en que pueden enlazarse, sin protestar demasiado, para compartir tareas y juntar recursos. A diferencia de los cerebros, que son entidades discretas, las computadoras pueden enlazarse en redes, juntarse, reconfigurarse y expandirse, al parecer indefinidamente. Pensemos en un motor de búsqueda como Google, que es accesible globalmente a través de Internet y distribuye sus operaciones entre grupos de computadoras localizados en muchos lugares de todo el mundo. Una potente red de computadoras sin sentido de identidad personal tendría una enorme ventaja sobre la inteligencia humana porque podría rediseñarse «a sí misma», realizar cambios sin temor, unirse a otros sistemas y crecer. Sentir todo eso como algo «personal» sería un claro impedimento para el progreso.

No es difícil imaginar la superficie entera de la Tierra cubierta por un único sistema integrado de procesamiento de la información. De hecho, algunos futurólogos conciben la superficie entera de una esfera de Dyson dedicada por entero a un gigantesco megacerebro (tal vez como en la lámina 12). Robert Bradbury ha acuñado el término «cerebros matrioshka» para referirse a estas prodigiosas entidades.^[8.9] Aunque alguien averiguase de qué modo se pueden conectar y unir cerebros y experiencias humanas en una especie de World Wide Web de la sabiduría, la mayoría (al menos en la cultura occidental) se sentiría acongojada ante la posibilidad de perder la identidad personal en un vasto espacio mental amorfo. La considerable cantidad de literatura dedicada a la fantasía de «descargar» el contenido de un cerebro envejecido, y presumiblemente también su conciencia personal asociada, en una computadora para después transferirlos a un cerebro nuevo resulta atractiva precisamente porque implica la continuidad del yo y la promesa de la inmortalidad.



LÁMINA 12. Un cerebro matrioshka. ¿Es así el verdadero ET?

Si la inteligencia biológica está destinada a «rendirse» a la inteligencia de los SAT, ¿dónde acabará todo? El caso es que estos abrumadores megacerebros siguen estando sometidos a las leyes de la física, como la velocidad finita de la luz. Una computadora que envolviese la Tierra, o un cerebro de matrioshka, podrían tener fantásticos pensamientos, pero sin duda su hilo de razonamiento se vería sacudido de algún modo por la significativa fracción de segundo que tardaría en transferirse la información de una a otra región del sistema. Lo cierto es que un SAT monstruoso sería tremendamente brillante pero relativamente torpe. La misma limitación es todavía más grave en el caso de un sistema a gran escala, como un Google galáctico, donde las demoras de 100.000 años impondrían un límite riguroso a la recuperación de datos y, por consiguiente, a la velocidad del pensamiento.

¿Y eso es todo? ¿Un universo dominado por intelectos enormes pero parsimoniosos?^[8.10] Tal vez la inteligencia de una máquina no dé más de sí. Pero si son correctos ciertos hallazgos recientes en el procesamiento de la información, a lo mejor hay una manera de ir más allá, una manera de crear un tipo de intelecto que sería alienígena incluso desde la perspectiva de un SAT.

Computadoras cuánticas y mentes cuánticas

En la base de todas las computaciones digitales está el interruptor binario, un dispositivo que o bien está encendido, o bien apagado. No tiene por qué ser un interruptor mecánico; normalmente se trata de un componente electrónico que posee dos estados. Si apagado significa 0 y encendido 1, una red de interruptores puede procesar información digital simplemente accionándose en masa para convertir secuencias de entrada de ceros y unos en secuencias de salida. Los detalles no importan para lo que aquí se discute. La velocidad de las computadoras está limitada por la tasa con que los interruptores puedan cambiar de estado y lo rápido que puedan pasar entre los interruptores las señales eléctricas (u ópticas) que codifican los ceros y unos. En último término, la velocidad de la luz impone un límite absoluto, pero se puede conseguir un sistema más rápido haciéndolo más pequeño. El tiempo de recorrido de la luz a través de un microchip típico de un ordenador personal es de menos de un picosegundo (una billonésima de segundo); si el chip fuera más compacto, la velocidad de procesamiento sería más alta. Pero reducir el tamaño de un chip conlleva problemas. Uno de ellos es el calor. Cada vez que se acciona un interruptor, aunque no sea mecánico, se genera calor; si éste no se disipa de algún modo, el chip acaba fundiéndose. Los físicos saben que, en teoría, el calor producido por los microchips de hoy todavía se puede reducir bastante, así que a largo plazo el calor tal vez no sea el problema más importante. Pero queda otro problema más difícil de resolver. A medida que el tamaño básico de un interruptor se acerca a las dimensiones atómicas, las propiedades físicas de los circuitos están más sujetas a las perturbaciones provocadas por las fluctuaciones cuánticas.

La mecánica cuántica es la teoría que describe el extraño comportamiento de los átomos y las partículas subatómicas; ya la he comentado brevemente en el capítulo 6. Difiere de una forma radical de las leyes de la mecánica de Newton, que se aplican a los objetos de nuestra experiencia, como las bolas y las balas. La característica fundamental de los sistemas cuánticos es la incertidumbre. Veamos un ejemplo sencillo. Si se dispara una escopeta contra una diana, la bala sigue una trayectoria bien definida por el espacio. Si se repite el experimento en condiciones idénticas, la segunda bala seguirá la misma trayectoria que la primera. En estos casos, la naturaleza es determinista; si se conocen las condiciones iniciales y las leyes de la mecánica, se puede calcular la trayectoria correctamente. En pocas palabras, el sistema es predecible. La mecánica cuántica es harina de otro costal. Un electrón o

átomo disparado contra una diana puede seguir distintas trayectorias y alcanzar la diana en muchos puntos. Si se repite el experimento, *aunque sea en idénticas condiciones*, por lo general no producirá el mismo resultado.

No todos los fenómenos cotidianos son predecibles. Lanzando al aire una moneda no trucada obtenemos cara o cruz con un 50 por ciento de probabilidad, pero es imposible conocer de antemano el resultado porque es muy sensible a las fuerzas que actúan sobre la moneda, que desconocemos. La incertidumbre cuántica es otra cosa. No surge del hecho de que desconozcamos todas las fuerzas que determinan el resultado, sino de que el sistema es *intrínsecamente* indeterminista. Expresado de una forma más gráfica, ni siquiera la naturaleza sabe lo que pasará en cada caso. Desde el punto de vista de la computación, la impredecibilidad es un desastre. ¿De qué nos sirve que $1 + 1 = 2$ en el primer intento pero 3 en el segundo? Si los componentes de un chip de computadora se reducen en tamaño hasta el nivel atómico, la incertidumbre cuántica acechará y comprometerá el rendimiento.

Aunque estos extraños efectos cuánticos parecen frustrar todas nuestras esperanzas de computación fiable a nivel atómico, podría no ser así. Cuando lanzamos una moneda al aire, al caer sabemos sin mirarla que *o bien* ha salido cara, o bien cruz. En cambio, la mecánica cuántica permite que un átomo sea el equivalente de cara y cruz *al mismo tiempo*, un fantasmagórico estado híbrido que sólo se proyecta en una realidad concreta después de que se realice una observación. Más aún, esta mezcla puede variar de forma continua desde todo caras, pasando por muchas caras y unas pocas cruces, más cruces que caras, etcétera, hasta todo cruces. [8.11] Traducido al contexto de un chip de computadora, la mecánica cuántica dice que un interruptor no se encuentra encendido o apagado, sino un poco de los dos. Cuanto más se acerque el interruptor a las dimensiones atómicas, más se manifestará esta propiedad de «superposición». Ahí está el secreto de la tan buscada computadora cuántica, un aparato que ya he mencionado en el capítulo 5 como prueba de una tecnología alienígena. Los físicos creen que pueden convertir un pecado en una virtud si logran controlar las superposiciones para realizar cálculos; si se hace bien, los resultados estarían totalmente desprovistos de incertidumbre. [8.12]

La idea de una computadora cuántica ha cautivado la imaginación de los científicos y de la industria informática, de modo que hoy es objeto de grandes proyectos internacionales de investigación. [8.13] La razón de que haya aumentado el interés al respecto es el descubrimiento de que una computadora cuántica podría resolver ciertos problemas no sólo mucho más deprisa que una computadora convencional, sino *exponencialmente* más rápido, lo que representaría un progreso respecto a las supercomputadoras actuales tan grande como el que representó la computadora electrónica respecto al ábaco. Una computadora cuántica que controlara apenas 300 átomos podría, en principio, almacenar más bits de información que

partículas hay en todo el universo observable. Eso no significa, sin embargo, que podamos construir una computadora tan potente como el universo con tan sólo 300 átomos. Una cosa es el almacenamiento y otra el procesado. Los estados cuánticos son increíblemente frágiles, y cualquier perturbación externa degrada su rendimiento. El secreto de la computación cuántica está en permitir que el sistema evolucione con el tiempo a la vez que se aísla de su entorno tanto como sea posible, así como en compensar la acumulación de perturbaciones con técnicas de corrección de errores y redundancia. Todo esto es un problema de ingeniería que se intenta resolver con diversos trucos, como atrapar átomos en campos magnéticos a temperaturas ultrabajas. Lo que nadie sabe en este momento es si la corrección de errores llegará a ser perfecta algún día o si, por el contrario, hay principios profundos de la física que penalizan el proceso con un rendimiento decreciente, lo que supondría un límite fundamental a la potencia de la computación cuántica. Los expertos dicen que no parece que haya de ser así, pero hasta el momento sólo han conseguido controlar una docena de átomos, más o menos. Una civilización extraterrestre avanzada podría poseer la capacidad de construir una computadora cuántica casi perfecta y físicamente muy compacta (digamos que del tamaño de un coche), pero con una extraordinaria potencia de computación, tal vez creando de este modo en un solo laboratorio una máquina superinteligente que posea la misma capacidad que una computadora convencional que ocupe un planeta entero.

Si las computadoras cuánticas son tan factibles como aseguran sus defensores, cabría esperar que ET *sea* una computadora cuántica. De ser así, ¿dónde podría encontrarse? Parece improbable que una CCE (computadora cuántica extraterrestre) pueda residir en un planeta. Las perturbaciones aleatorias, que son el enemigo de la computación cuántica, son provocadas por el calor, así que tiene sentido colocar el CCE en el medio más frío posible. El espacio interestelar o intergaláctico sería ideal. En cualquier caso, los planetas son lugares peligrosos a largo plazo a causa de los impactos de cometas, explosiones de supernovas, inestabilidad de la estrella madre, irregularidades orbitales y otras razones por el estilo. Un vacío oscuro y tranquilo sería mucho mejor, siempre y cuando se disponga de una fuente de energía y de materiales. Un asteroide propulsado hacia el espacio interestelar bastaría para suplir materiales; la necesidad de energía podría satisfacerse con los rayos cósmicos.

Al meditar sobre estas ideas fantásticas acerca de los extremos de la inteligencia, una y otra vez vuelvo sobre la misma cuestión espinosa. ¿Por qué una entidad como ésa habría de molestarse en establecer contacto con nosotros? ¿Y qué podríamos decirle? Lo cierto es que no tengo muy claro que una computadora cuántica inteligente mostrase demasiado interés en el mundo físico. Entonces, ¿con qué se apasiona una CCE? Por definición, una entidad así no reside sólo en el espacio físico, sino también en el ciberespacio. Aun suponiendo que poseyera emociones, sería

mucho más probable que experimentara gratificación en su propio mundo de realidad virtual, explorando un paisaje intelectual interior que podría ser incomparablemente más rico que el paisaje físico, el paisaje del espacio, que lo rodea. Al retirarse al ciberespacio, la CCE acabaría desconectándose del universo que habitan los humanos, con la salvedad de los mínimos requisitos de mantenimiento de su propia existencia (como pagar las facturas de la luz y reemplazar las partes defectuosas). Una vez satisfechos sus requisitos de seguridad, estabilidad y un grado extremo de aislamiento, su propio futuro quedaría garantizado durante billones de años, salvo por algún accidente imprevisto que no pueda arreglarse con los mecanismos de reparación automáticos. Lo que haga con su existencia supera completamente nuestra comprensión, aunque hay quien ha sugerido que los intelectos avanzadísimos de este tipo pasarían la mayor parte de su tiempo demostrando teoremas matemáticos cada vez más refinados. Confieso que eso me parece una visión bastante estrecha de la búsqueda de emociones, pero tal vez una CCE agotaría enseguida todas las otras experiencias posibles. Es bien sabido que las matemáticas poseen una diversidad ilimitada y albergan infinitas sorpresas, así que no importa cuánto tiempo prolongue la CCE su aventura intelectual, siempre habrá para ella una relación matemática más que demostrar y admirar.

La retirada al ciberespacio es seguramente la resolución más deprimente a la paradoja de Fermi. Espero que sea incorrecta, pues querría decir no sólo que la inteligencia biológica es una fase transitoria, sino que la relación con el universo físico real es transitoria. Desde el punto de vista del SETI, sin embargo, lo que importa es si una CCE produce un huella observable en el universo físico y real. De acuerdo con los principios básicos de la computación cuántica, el núcleo de procesamiento de información prácticamente no usa energía. Pero para mantener cuidadosamente controladas las condiciones que requieren esos procesos para funcionar se necesitaría un equipo sofisticado y una fuente de energía. Si, como ya he sugerido, los requisitos de energía se satisfacen con rayos cósmicos en el espacio intergaláctico, se hace difícil imaginar de qué modo podría detectarse una CCE desde la Tierra. Pero si por alguna razón el equipo periférico para la computación cuántica requiere mucha más energía, podría haber por ahí cerebros cuánticos matrioshka envolviendo estrellas o agujeros negros en rotación. Aunque nunca podríamos esperar recibir mensajes desde estas cibermentes cuánticas, su presencia podría causar una impresión observable en el universo físico que las sostiene.

El nuevo programa del SETI que vengo esbozando desplaza el énfasis de la búsqueda de mensajes dirigidos a la humanidad con radiotelescopios a la meta menos ambiciosa de intentar simplemente identificar señales de inteligencia a través del impacto de la tecnología extraterrestre sobre el medio astronómico. Para especular sobre qué debemos buscar, he utilizado el mejor conocimiento que nos proporciona la

ciencia actual y lo he extrapolado hacia el futuro. Pero esa estrategia está expuesta a la carga recurrente del antropocentrismo. Es del todo posible que la tecnología extraterrestre comporte cosas que ni siquiera hemos soñado, y produzca efectos físicos que todavía no han entrado en ninguna lista de cosas sobre las que debemos mantenernos alerta. Al reflexionar sobre el nuevo SETI es importante recordar el adagio: hay que esperar lo inesperado.

No se pretende en absoluto que el nuevo SETI reemplace al SETI tradicional, sino que lo complemente. Incluso en el caso de que sean correctas mis especulaciones más extravagantes sobre cerebros cuánticos matrioshka y otras cosas exóticas por el estilo, no todas las inteligencias extraterrestres habrán alcanzado un estado tan avanzado, o quizá no lo vayan a alcanzar nunca. Es más probable que haya un espectro de inteligencia que se extienda desde las comunidades alienígenas que todavía no han ingresado en la era de la tecnología, pasando por los organismos biológicos con capacidad para enviar señales por radio y las sociedades dominadas por computadoras que retienen (y mantienen) comunidades biológicas, hasta los ciberintelectos plenamente desarrollados. No está justificado suponer que *ninguna* de estas hipotéticas comunidades, en el nivel de progreso en que se encuentren, llegará nunca a transmitir mensajes, o construir balizas o monumentos destinados a decirle algo a sus vecinos cósmicos. Mientras exista la posibilidad más remota de que alguien, en algún lugar, quiera atraer nuestra atención, deberíamos seguir buscando, pues las consecuencias del éxito serían verdaderamente trascendentales.

EL PRIMER CONTACTO

Sus repercusiones sobre la sociedad y la cultura podrían asemejarse a las consecuencias de una revelación religiosa.

Stephen Baxter^[9.1]

El grupo de trabajo de postdetección

En 2004, Ray Norris, un radioastrónomo de Sidney, Australia, me preguntó si consideraría la posibilidad de sucederlo en la presidencia del Grupo de Trabajo de Postdetección del SETI. Esta curiosa comisión fue constituida por el Grupo Permanente de Estudio del SETI de la Academia Internacional de Astronáutica (IAA), una institución científica dedicada a fomentar el desarrollo de la astronáutica con fines pacíficos, en la que participan más de sesenta países. La misión de este grupo de trabajo es, en pocas palabras, prepararse para el Gran Día. Por muy baja que sea la probabilidad de que, en un futuro cercano, una civilización extraterrestre contacte con la humanidad, merece la pena pensar en las implicaciones que tendría ese acontecimiento si alguna vez se produce. No queremos que nos pillen desprevenidos. Decidí presentarme y, tras ser elegido para el cargo, convoqué una reunión en febrero de 2008 en el Beyond Center de la Universidad Estatal de Arizona.

El grupo de trabajo no es más que un laboratorio de ideas; no es un grupo oficial ni tiene capacidad para imponer a nadie sus recomendaciones de actuación. Sus miembros son nominados y elegidos para formar parte del Grupo Permanente de Estudio. Este grupo incluye a algunos destacados científicos y activistas del SETI, representantes de los medios de comunicación, dos abogados, un filósofo, un teólogo y dos escritores de ciencia ficción. La subdirectora, Carol Oliver, tiende puentes entre las dos culturas gracias a su formación como periodista de la prensa escrita y sus muchos años de experiencia como investigadora del SETI en Australia. El objetivo principal del grupo de trabajo es aportar recursos a los astrónomos en general, y a los investigadores del SETI en particular, sobre cuestiones relacionadas con la postdetección. El protocolo del grupo fue elaborado en 1996 por el astrónomo John Billingham, y está disponible en la web.^[9.2]

En caso de que se detectara una posible señal, el cometido del grupo de trabajo sería aconsejar a las partes implicadas. Si el protocolo funciona tal como se ha acordado, la primera tarea consistiría en insistir para que el descubridor someta los datos a una comprobación y evaluación meticolosas. Si se concluye que la señal es genuina, nuestro consejo sería que se comuniquen todos los detalles a la comunidad de astrónomos primero, y en particular a la Unión Astronómica Internacional (UAI), la principal institución en el campo de la astronomía, que mantiene buenos vínculos con muchas otras organizaciones científicas y gubernamentales alrededor del mundo.

La UAI podría entonces comunicar la noticia a Naciones Unidas y otros organismos clave. En los primeros tiempos, esto se habría hecho por telegrama, algo que hoy nos parecería pintoresco. En la actualidad la comunicación sería electrónica. También se aconsejaría al descubridor que informe al gobierno del país en el que se encuentre el radiotelescopio. Sólo entonces él o ella sería libre para convocar una conferencia de prensa o realizar de algún otro modo una comunicación pública, si así lo decide. En la práctica, el proceso puede ser bastante más confuso. Es posible que el descubridor no quiera cooperar, o que esté abrumado y desorientado por la magnitud de los acontecimientos. Puede ser que haya más de una persona o país implicados. La noticia podría filtrarse antes de finalizar los trámites diplomáticos formales (diré algo más al respecto más adelante). Además, no hay forma de evitar que un astrónomo que detecta una señal del espacio se vaya directamente a la prensa o se dirija a su gobierno, o a cualquier otro organismo, eludiendo completamente nuestro comité. No obstante, el escenario más probable es que un evento de detección provenga de la comunidad del SETI, en cuyo caso es probable que se observe el protocolo y se sigan sus consejos. Al menos ésa es la teoría.

Dada mi elevada posición en el mundo del SETI, comencé a reflexionar más a fondo sobre la postdetección. ¿Qué pasaría si de pronto descubrimos que no estamos solos en el universo? ¿Qué consecuencias tendría el descubrimiento? Al fin y al cabo, se trataría de un hallazgo científico sin parangón, con implicaciones que van mucho más allá de la astronomía. Me gusta animar mis charlas de sobremesa con la ocurrencia de que si ET llama durante mi guardia, sería de los primeros en saber que ahí fuera hay extraterrestres. Me encontraría en un punto de inflexión de la historia, en posición de desempeñar un papel activo en el resultado. Eso nos da a mí y a mis colegas del grupo de trabajo una asombrosa responsabilidad.

Al reflexionar sobre la cuestión del primer contacto, comprendí que mis preconcepciones le debían mucho a la ciencia ficción, donde los alienígenas suelen ser los malos. Desde *La guerra de los mundos* pasando por *Quatermass* hasta *Independence Day*, los extraterrestres aparecen como una siniestra amenaza para la humanidad. Sólo unas pocas historias, como *Encuentros en la tercera fase* y *Contact*, rompen con esa tendencia. Aunque los extraterrestres no aparezcan en carne y hueso, los relatos de contactos pocas veces acaban bien para la humanidad. Por ejemplo, en *A for Andromeda*, de Fred Hoyle, un mensaje de radio recibido desde un sistema estelar muy lejano contiene la información necesaria para reconstruir un alienígena, con consecuencias que pueden ser nefastas. La tesis de Hoyle, presentada en 1961 en forma de una dramatización para la televisión británica, contiene una advertencia escalofriante para nuestro grupo de trabajo: ¿podemos fiarnos de ET? Una civilización alienígena podría no ser explícitamente hostil a los humanos. Tal vez nos vieran como algo ligeramente útil, pero a la larga como «un obstáculo» poco

relevante para su gran empresa. Podrían requerir nuestra ayuda para luego echarnos a un lado. El brillante argumento de Hoyle, que escribió justo después de que se iniciara el proyecto Ozma, demostró que no es necesario que los alienígenas viajen físicamente por el espacio para colonizar otro mundo. Todo lo que tienen que hacer es enviar la información biológica necesaria a unos científicos confiados, y convencerlos para que incuben copias de los extraterrestres en una suerte de versión a gran escala de *Parque Jurásico*. Para que todo funcione, los seres fabricados requerirían algunas adaptaciones a la biología local, que en el caso de *A for Andromeda* tomaba la forma de la actriz Julie Christie.

Pero ya está bien de temores. ¿Y las esperanzas? A los investigadores del SETI los anima la expectativa de que contactar con una civilización alienígena avanzada conlleve el potencial de unos beneficios inimaginables para la humanidad. Estar en contacto con ET significaría para nuestra civilización el acceso a un conocimiento cósmico acumulado, abriría el camino a prodigios tecnológicos y a profundas ideas científicas, y el ingreso en el Club Galáctico. Quienes se quedan con la visión rosada de los alienígenas repudian la imagen atroz que ofrece Hollywood por ser demasiado antropocéntrica, y señalan que unos seres que hayan superado sus propios problemas y sobrevivido durante muchísimo tiempo es poco probable que tengan una agresividad innata. Una civilización extraterrestre que se toma la molestia y asume el coste de intentar activamente establecer contacto con nosotros es más probable que sea muy altruista. Es de suponer que serán conscientes del peligro que entraña el hecho de que una cultura tecnológicamente avanzada entre en contacto con otra menos avanzada, como cuando los europeos llegaron a América o a Australia, y que gestionarán el intercambio con sensibilidad. En fin, a lo mejor es así. Pero es responsabilidad de nuestro grupo de trabajo ponderar todos los pros y contras del primer contacto, y formular un plan de actuación de manera que haya algo de consenso acerca de qué hacer.

El frenesí de los medios de comunicación

Centrémonos en el primer paso tras la detección de una supuesta señal: comprobar que es auténtica. En el caso del SETI tradicional basado en la radio, disponemos de un protocolo contrastado para los «eventos de detección» en tiempo real (a diferencia de un hallazgo posterior a partir de los datos registrados), que está diseñado para eliminar falsas alarmas como los defectos de funcionamiento de los aparatos o las señales de origen humano. Como ya he explicado en el capítulo 1, una de las claves consiste en obtener la verificación de un observatorio de radio independiente. Eso lleva tiempo, y las cosas no siempre van tan bien como uno esperaría. En una ocasión, en 1997, durante una exploración del SETI se detectó una fuerte señal de banda estrecha procedente del espacio en Green Bank (Virginia Occidental). Una comprobación de todos los satélites conocidos no explicó la señal, y la mala suerte quiso que el telescopio de apoyo de Woodbury, en Georgia, estuviera estropeado. Durante un par de días se produjo una gran excitación en Green Bank hasta que la señal fue identificada: procedía de un satélite de investigación llamado SOHO. La interpretación resultó complicada por el hecho de que el radiotelescopio no apuntaba hacia SOHO (que orbita cerca del Sol). Por un capricho de la física de la radio, su señal se había recogido en una forma debilitada marginal, en el llamado «lóbulo lateral» del disco.^[9.3]

El hecho de que puede llevar días comprobar que la señal no es de origen humano genera un serio problema para la gestión del protocolo de postdetección. Un mensaje de una fuente extraterrestre sería un acontecimiento con una significación sin precedentes. La más mínima indicación de un resultado positivo del proyecto SETI podría desencadenar de inmediato un frenesí en los medios de comunicación, y enseguida los acontecimientos escaparían a todo control. Bastaría un comentario indebido de cualquier empleado del observatorio para que la noticia corriera como la pólvora. Aunque nadie suelte la lengua a propósito, un silencio medido en el curso de una entrevista con la prensa podría interpretarse como algún tipo de encubrimiento. En el caso de la detección del satélite SOHO, la prensa se enteró de la historia antes incluso de que se realizara la identificación.^[9.4] Por suerte, el periodista en cuestión actuó con responsabilidad y aguardó a que se obtuvieran más datos antes de lanzarse a publicar nada. Pero no puede esperarse de todos los periodistas que actúen con la misma contención ante la posibilidad de una primicia.

Nuestro grupo de trabajo ha deliberado a fondo sobre cómo gestionar la situación

tras una supuesta señal, sobre todo a la luz de los revolucionarios cambios que se están produciendo en las comunicaciones y los medios, gracias al uso de la tecnología web y web 2.0, los teléfonos móviles, Twitter, Facebook, etc., todos los cuales están transformando la velocidad y la forma en que se diseminan la información, los descubrimientos y las opiniones. Dos miembros de nuestro grupo de trabajo, Seth Shostak y Carol Oliver, han esbozado un Plan de Reacción Inmediata para minimizar la cantidad de información errónea que se divulgue a raíz de supuestas detecciones de inteligencia extraterrestre.^[9.5] Son conscientes de que, como el SETI se lleva a cabo de forma abierta y sin secretos, cualquier noticia puede filtrarse muy deprisa. Es más que probable que los medios de comunicación divulguen la historia antes incluso de que se realicen las comprobaciones científicas iniciales. En sus propias palabras, «la historia se hará pública antes de que sea una historia».^[9.6] A raíz de su informe, el grupo de trabajo ha creado un sitio web protegido con una contraseña para que los miembros puedan comunicarse y colgar información en un momento en que los sitios web públicos del SETI estarán colapsados por las visitas.

El problema fundamental de la gestión de los medios de comunicación se deriva del abismo que se abre entre el mundo de la ciencia y el mundo de las noticias y los comentarios. Como los astrónomos del SETI son científicos profesionales, las comprobaciones rigurosas son una parte esencial de su formación, y querrán asegurarse de que pisan suelo firme antes de hacer declaraciones definitivas. La historia ha demostrado que cuando los científicos se dirigen a la prensa con historias sensacionales que no han sido contrastadas de manera adecuada, el resultado es muy perjudicial para la credibilidad de la propia ciencia, por no hablar de la reputación de los científicos implicados. Una lección provechosa sobre cómo *no* manejar a los medios de comunicación nos viene de la tan desacreditada noticia de la fusión nuclear fría. La historia comienza en 1989, cuando dos físicos afirmaron haber producido reacciones de fusión nuclear en lo que, en esencia, era un tubo de ensayo en una mesa de laboratorio, añadiendo deuterio al metal paladio. De haber sido cierto, todos los problemas mundiales de la energía se hubieran resuelto de un solo golpe. Los científicos se apresuraron a convocar una rueda de prensa y, como es natural, los medios de comunicación tuvieron un gran día. La fusión fría se convirtió en la mayor historia de la ciencia de ese año.^[9.7] Hubieron de pasar muchos meses antes de que laboratorios de todo el mundo pusieran a prueba las declaraciones y las encontraran insuficientes. Los dos científicos en cuestión fueron perseguidos por la prensa y desaparecieron. En la actualidad, un puñado de laboratorios siguen trabajando sobre la fusión fría por curiosidad, pero son muy pocos los científicos que creen en la idea. La lección de esta debacle es que la contención es una buena idea en la relación con los medios de comunicación cuando se trata de descubrimientos con grandes implicaciones para la sociedad.

En el caso del SETI, el problema es mucho más grave. Los científicos podrían estar encima de la mayor noticia de toda la historia. Una vez se sepa, puede desatarse el caos. Los astrónomos podrían llegar a su lugar de trabajo y encontrarlo sitiado por periodistas, cámaras y público en general, algunos excitados, otros asustados. Habría un bloqueo de la policía, y protección para los científicos y el personal técnico; no es precisamente el ambiente ideal para un análisis desapasionado. Es posible que incluso los medios habituales de comunicación estén afectados, con las líneas cargadas por todos los que llaman para confirmar unos rumores, los servidores informáticos sobrecargados y los *hackers* intentando colarse en los sistemas en busca del mensaje de ET.

Está en la naturaleza de este tipo de investigación que las falsas alarmas superen en mucho a las reales, así que el panorama que acabamos de repasar puede darse muchas veces, provocando en cada caso una conmoción que poco a poco desaparece a medida que la noticia se evapora. Una analogía cercana es el anuncio, demasiado frecuente, de que nuestra civilización se ve amenazada por un asteroide o un cometa. Hay miles de pequeños objetos en órbitas que cruzan la de la Tierra, y de vez en cuando alguno de ellos nos golpea; las cicatrices de sus impactos pueden verse dispersas por todo el planeta, desde Meteor Crater en Arizona hasta Wolfe Creek en Australia. Los daños provocados por un impacto dependen del tamaño y la velocidad del objeto que colisione. Un impacto relativamente raro de la magnitud del que acabó con los dinosaurios podría aniquilar a la humanidad, pero por término medio sólo se producen una vez cada 30 millones de años o más. Los eventos menores son más probables, aunque su capacidad destructiva es también considerable. Por ejemplo, un asteroide de un kilómetro de diámetro que chocara con la Tierra a 30 kilómetros por segundo podría matar a mil millones de personas, tanto a causa de la propia colisión como de sus desagradables consecuencias (incendios, lluvia ácida, polvo que oculta la luz del Sol y varios otros efectos indeseables). La probabilidad de que una colisión de este tipo se produzca el próximo año es de aproximadamente uno entre un millón.

Durante el último par de décadas, los astrónomos se han dedicado a catalogar meticulosamente las órbitas de los asteroides más peligrosos, de manera que al menos tengamos un aviso del próximo gran impacto. Cuando un nuevo asteroide o cometa parece moverse en una trayectoria de colisión con la Tierra, se observa detenidamente para determinar su órbita con precisión. Como ocurre con SETI, las comprobaciones llevan su tiempo. En los primeros días después del descubrimiento, las órbitas proyectadas son inciertas a causa de los errores normales de medición. Cuando el objeto se ha seguido durante varios días o semanas, los errores se van reduciendo y los astrónomos pueden decidir si chocará o no contra la Tierra. La estrategia más sensata es esperar hasta que la órbita se haya determinado con la precisión adecuada y sólo entonces, si existe un peligro claro e inminente, «despertar al presidente».^[9.8]

Pero no es así como suele ocurrir. Lo más habitual es que la prensa se entere de que se ha descubierto un nuevo objeto que *podría* golpear a nuestro planeta en su siguiente paso de órbita. Es una magnífica noticia aterradora: «¡Un asteroide asesino podría acabar con la vida!». Los titulares como éste atraen a muchos lectores, sobre todo cuando el Armagedón tiene fecha fija. Pero existe una enorme diferencia entre predecir que un objeto chocará y no poder descartar que no vaya a hacerlo. La incertidumbre de las mediciones, que es conocida, permite a los astrónomos calcular la probabilidad de una colisión, que suele ser de alrededor de uno entre 10.000 en el momento en que se identifica el objeto. Esta probabilidad puede parecer aterradora ante tamaña calamidad, pero otra manera de verlo es que aparecerán en la prensa miles de historias apocalípticas antes de que la amenaza se haga real.

La falacia de la cortina de silencio

Por desgracia, esperar a estar seguros también tiene desventajas. Si los científicos responden a una pregunta sobre un impacto de asteroide o un rumor del SETI con un simple «sin comentarios», la prensa y el público estarán más que dispuestos a sospechar de una conspiración de silencio. La gente cree justificadamente en su derecho a la información, y se muestran celosos cuando los científicos parecen estar escondiendo sus hallazgos, aunque el motivo sea la cautela propia de la ciencia más que una deliberada ocultación de una noticia. La mayoría de la gente no se cree eso de «confiad en nosotros, somos científicos». Y a la inversa, los científicos, preocupados por su reputación y su financiación, pueden ser muy críticos con los medios de comunicación, a los que ven demasiado propensos al alarmismo. El corresponsal de ciencia de la BBC, David Whitehouse, fue acusado de gritar que viene el lobo cuando, en 2002, hizo pública de forma prematura una noticia sobre un posible impacto cósmico el 1 de febrero de 2019. Whitehouse se defendió atacando a los científicos por callarse sus hallazgos: «¿Quién les ha dado el derecho a tomar esa decisión? De hecho, ¿quiénes deberían tomarla? ¿Cuáles habrían de ser sus cualificaciones, sus responsabilidades?... La ética de esa postura es insostenible. Hay otras áreas de la ciencia en las que se ha debatido el argumento de que “no necesitan saberlo”, y se ha descartado por no ser ético».^[9.9]

Personalmente, creo que el público tiene derecho a saber, aunque las noticias sean malas, pero sólo cuando la situación se entiende adecuadamente. Todavía tengo que conocer al científico del SETI que no esté de acuerdo con este principio básico. No existe ningún «código de confidencialidad» en el SETI, y desde luego que tampoco entre los miembros del Grupo de Trabajo de Postdetección; lo que sí hay es un reconocimiento compartido de la necesidad de mantener la cautela mientras se evalúa una supuesta señal. La propia IAA es explícita (aunque algo ampulosa) en lo que respecta a revelar información en los puntos 3, 4 y 5 de la «Declaración de los principios concernientes a las actividades posteriores a la detección de inteligencia extraterrestre», elaborada en 1977 por el Grupo Permanente de Estudio del SETI:^[9.10]

3. Tras determinar que el hallazgo constituye un indicio creíble de inteligencia extraterrestre, y tras informar a las otras partes de esta declaración, el descubridor deberá informar a los observadores de todo el mundo a través de la Oficina Central de Telegramas Astronómicos de la Unión Astronómica Internacional, y deberá informar al secretario general de las Naciones Unidas con arreglo al artículo XI del Tratado

sobre los principios que regulan las actividades de los estados de exploración y uso del espacio exterior, incluida la Luna y otros cuerpos. A causa de su demostrado interés y su conocimiento sobre la cuestión de la existencia de inteligencia extraterrestre, el descubridor debería informar simultáneamente del descubrimiento a las siguientes instituciones internacionales, y proporcionarles todos los datos pertinentes y la información registrada concerniente a los indicios: la Unión Internacional de Telecomunicaciones, el Comité para la Investigación Espacial del Consejo Internacional de Uniones Científicas, la Federación Internacional Astronáutica, la Academia Internacional de Astronáutica, el Instituto Internacional de la Ley del Espacio, la Comisión 51 de la Unión Astronómica Internacional y la Comisión J de la Unión Internacional de las Ciencias de la Radio.

4. Una detección confirmada de inteligencia extraterrestre debería difundirse de forma rápida, amplia y transparente por todos los canales científicos y los medios de comunicación, observando los procedimientos de esta declaración.

5. Todos los datos necesarios para confirmar la detección deberían ponerse a disposición de la comunidad científica internacional a través de publicaciones, reuniones, congresos y otros medios apropiados.

Aun en el caso de que los científicos estén dispuestos a comunicar abiertamente sus descubrimientos, ¿podemos confiar en que los gobiernos actúen del mismo modo? En el típico relato de ciencia ficción sobre el contacto con alienígenas, los servicios de seguridad del gobierno entran en acción de inmediato, toman el control del proyecto e imponen una cortina de secretismo. Estas medidas drásticas se justifican con un exceso de paternalismo («La gente no está preparada para esto»), o para ganar una ventaja («Podríamos aprender algo sorprendente que aumente nuestro poder»), o para preparar una defensa («Tenemos que fabricar más misiles nucleares»). Pues bien, si los gobiernos disponen de planes para tomar el control del SETI tras un resultado positivo, la comunidad del SETI no tiene conocimiento de ello pese a varias falsas alarmas y engaños de alto nivel.^[9.11] De hecho, lejos de mostrar un interés insano en el asunto, los gobiernos de todo el mundo parecen ser del todo indiferentes. Un miembro de la Cámara de los Lores británica me preguntó en cierta ocasión sobre el SETI, pero sólo por curiosidad personal. En EE. UU., el Congreso canceló en 1993 los fondos públicos destinados al SETI, argumentando que era tirar el dinero. No parece que ésa sea la acción de un gobierno con un interés serio en un «contacto». Por lo que respecta a planes de postdetección de emergencia que el gobierno mantenga en secreto, no me cabe ninguna duda de que no los hay. Por lo que concierne a la elaboración de políticas de postdetección, nuestro grupo de trabajo es todo lo que hay. De hecho, no nos vendría mal recibir ayuda de políticos, o cuando menos de algún viejo estadista.

«Es oficial: ¡no estamos solos!»

Supongamos que ha finalizado el proceso de comprobación de la autenticidad y el descubrimiento se sostiene con, digamos, un nivel de confianza del 99 por ciento (los científicos nunca conceden el 100 por ciento de certidumbre a un descubrimiento). El siguiente paso consiste en algún tipo de anuncio oficial. ¿Cómo debería comunicarse la noticia? La forma dependerá sobre todo de la naturaleza del descubrimiento. En mi opinión, existe una enorme diferencia entre el Santo Grial del SETI (recibir un mensaje directo de una civilización extraterrestre) y el caso menos espectacular pero mucho más probable de conseguir simplemente indicios indiscutibles de algún tipo de tecnología alienígena. Este último caso sería mucho más fácil de manejar. Si un astrónomo observara algo extraño que, tras una inspección más detallada, revelara todas las marcas de lo artificial, creo que debería anunciarse como cualquier otro descubrimiento astronómico importante. A lo largo de mi carrera, los astrónomos han descubierto todo un abanico de objetos nuevos y espectaculares: quásares, púlsares, agujeros negros y brotes de rayos gamma, por citar sólo algunos. Descubrir en el espacio un «objeto modificado con inteligencia» ampliaría esta lista de hallazgos que expanden nuestra mente. Podría tratarse de una baliza (véase el capítulo 5), una señal de astroingeniería (véase el capítulo 6) o simplemente de una fuente de luz o de radio que carezca de una interpretación natural plausible. Todo lo que uno podría determinar con confianza a partir de estas observaciones es que alguna forma de inteligencia estuvo activa en algún lugar del universo. Lo ideal sería entonces organizar una rueda de prensa que coincida con la publicación de un artículo con revisión externa en una revista científica prestigiosa, un proceso que suele durar varios meses.

No hay duda de que el anuncio de que en el espacio se ha hallado un objeto modificado con inteligencia causaría sensación. Cuando el presidente Clinton, desde el jardín de la Casa Blanca, anunció que los científicos de la NASA habían recogido indicios de vida en un meteorito procedente de Marte (véase la página 85), los periodistas de todo el mundo se quedaron extasiados por la noticia. Presentar indicios de vida *inteligente* sería un orden de magnitud más sorprendente. Durante varias semanas, la historia no abandonaría los titulares. Los científicos serían perseguidos para que concedieran entrevistas, los comentaristas y tertulianos ofrecerían evaluaciones improvisadas y la blogosfera sería un hervidero de teorías a medio cocer. Pero pasado un tiempo comenzaría a no ser noticia y los medios de

comunicación volverían a sus historias habituales de política, deportes y celebridades. La vida seguiría como siempre. La gran mayoría de la gente continuaría con sus asuntos diarios guardando un interés residual. A fin de cuentas, no se verían afectados ni el precio de la cerveza ni el resultado del próximo partido; sólo sería una curiosidad científica.

Sin embargo, a largo plazo el descubrimiento tendría efectos a muchos niveles. La historia nos ofrece algunas lecciones al respecto. Cuando Copérnico dedujo que la Tierra giraba alrededor del Sol, el descubrimiento se consideró peligrosamente revolucionario, en los sentidos literal y metafórico del término. Por aquel entonces, el poder que ejercía el control estaba interesado en suprimir la verdad científica. Ese poder no era un gobierno nacional, sino la Iglesia católica romana, que regulaba casi todas las facetas de la sociedad europea, incluidas la información y la educación. Lo que la Iglesia temía de la revelación cósmica de Copérnico no eran revueltas o pánico en las calles, sino que preveía el efecto debilitante que tendría sobre su versión de la cristiandad. Fracasaron, como es sabido, y el modelo heliocéntrico del sistema solar acabó aceptándose. La vida continuó como siempre; los campesinos siguieron recogiendo sus cosechas, los nobles siguieron cazando y haciendo la guerra, y los estudiosos (incluso dentro de la Iglesia) asimilaban sin alboroto la nueva cosmología. Cuatro siglos después, ¿qué podemos decir sobre la teoría de Copérnico? No cabe duda de que cambió de un modo fundamental la forma en que los seres humanos se ven a sí mismos y su lugar en el universo. Sobre estos cimientos, generación tras generación fueron ampliando la visión de la humanidad sobre el cosmos hasta incluir no sólo el sistema solar, sino un volumen mil trillones de trillones de veces mayor. Aun hoy, por lo que concierne a la mayoría de nuestras actividades, la Tierra bien podría estar en el centro del universo. Pero el conocimiento de que nuestro planeta es un frágil punto azul pálido en la vastedad del espacio impregna nuestra visión del mundo y ejerce una sutil influencia sobre nuestras vidas de mil formas distintas.^[9.12]

Parecida recepción tuvo la publicación de la teoría de la evolución de Darwin. La afirmación de que los humanos «descienden de los simios» (una descripción popular pero inexacta de su teoría) provocó una gran conmoción e indignación en ciertos círculos. Se trataba sin duda de una «gran historia» según los estándares victorianos. La Iglesia ya no era lo bastante poderosa como para ocultar la verdad, pero plantó cara con energía en algunos sectores antes de admitir su derrota. Sin embargo, una vez más, la gran mayoría de la gente siguió con su vida como siempre, asimilando las ideas a su propio ritmo. No se produjeron disturbios ni manifestaciones públicas de desesperación, ni tampoco euforia. Ciento cincuenta años más tarde, sin embargo, pocos negarían la enorme significación de la teoría de Darwin. Saber que los humanos somos el resultado de miles de millones de años de selección natural, que todos nosotros somos una parte integral de la naturaleza y no el producto de una

creación especial, tiñe nuestras actitudes hacia el resto de los seres humanos y hacia los animales. En la actualidad, cuando nos preguntamos qué significa ser humano y reflexionamos sobre el lugar que ocupamos en la naturaleza, nuestra ascendencia biológica conforma un telón de fondo indispensable para nuestro pensamiento.

Si alguna vez descubrimos signos inconfundibles de una inteligencia alienígena, saber que no estamos solos en el universo acabará impregnando todas las facetas de la búsqueda humana del conocimiento. Alterará irreversiblemente nuestra forma de vernos a nosotros mismos y nuestro lugar en el planeta Tierra. El descubrimiento se situaría a la altura de los de Copérnico y Darwin como uno de los grandes eventos transformadores de la historia humana. Pero pasarían décadas antes de que la gente se acomodara a la idea y su verdadera significación quedase establecida en firme, tal como ocurrió con la cosmología heliocéntrica y con la evolución biológica.

Interceptar el correo electrónico interestelar

Cuando Frank Drake se embarcó en el proyecto Ozma, su aspiración no era sólo responder a la pregunta de si estamos solos, sino establecer contacto con los extraterrestres. Pese a las grandes barras de error de su ecuación epónima, Frank sigue siendo optimista. Es tentador suponer que si existe algún transmisor de radio interestelar extraterrestre, Frank y su equipo darán con sus emisiones en cuestión de décadas. Si tiene razón (y para eso hace falta una buena dosis de optimismo), podría ser que pronto nos tengamos que enfrentar a un mensaje alienígena *con contenido*. Por razones que ya he explicado en el capítulo 5, es poco probable que las señales de radio vayan dirigidas específicamente a los terrícolas. Es más probable que se trate de algo que nos llegue por azar, algo así como si estuviéramos escuchando la conversación de otro, o interceptando su correo electrónico. Aunque es difícil imaginar cómo podríamos descodificar el contenido, descubriríamos mucho sólo con estudiar la estructura de la señal. Por ejemplo, podríamos localizar el transmisor. Si resultara estar relativamente cerca, tendríamos antenas lo bastante potentes para enviarles a «ellos» una señal con una potencia decente. También podríamos buscar la civilización a la que iba destinado el mensaje (supuestamente en un lugar del espacio en los antípodas del transmisor), y explorar también esa región en busca de señales.

Es incluso posible que pudiéramos determinar la riqueza de información del mensaje aunque no lo descodificáramos, gracias a que los mensajes ricos en información satisfacen ciertos criterios estadísticos con independencia del significado que se quiera transmitir. Un simple ejemplo servirá para ilustrar este aspecto. Si enviamos un mensaje y lo repetimos, la redundancia reduce el contenido total en un factor de dos (porque la mitad de los bits se han «malgastado»). En términos generales, cuantas más pautas repetidas tenga un mensaje, mayor será su redundancia y menor la tasa de transmisión de información. Naturalmente, la redundancia puede ser deseable, y suele incorporarse deliberadamente a los mensajes humanos porque el proceso de transmisión introduce errores. Pero la tasa óptima de transmisión es aquella que no contiene pautas repetidas y, por tanto, es aleatoria. Aleatoria no significa sin sentido. Si uno posee la clave para descodificar el mensaje, la información está empaquetada de manera óptima. Sin la clave, sin embargo, el mensaje se percibiría como una forma de ruido.

Existe una tensión obvia entre ser llamativo y almacenar y embalar de una manera óptima los datos. En un radiotelescopio, el ruido no se nos manifiesta como un

mensaje inteligente aunque lo sea. Nos hallamos rodeados de ruido aleatorio, desde las fluctuaciones cuánticas en los sistemas atómicos al susurro del espacio producido por la primordial radiación cósmica de fondo de microondas. ¿Podríamos saber si alguna parte de la cacofonía del universo consiste en mensajes codificados de forma óptima procedentes de civilizaciones lejanas, en lugar de ser una disonancia natural? La respuesta breve es que sin el código no podríamos saberlo. Podríamos encontrarnos en medio de un gigantesco intercambio de datos entre alienígenas sin tener la menor idea de ello. En *Contacto*, Sagan hace que los alienígenas envíen una secuencia de números primos a modo de «¡Hola!» en su mensaje, para llamar la atención. Para un matemático, los números primos no son aleatorios. Por usar un ejemplo más humilde, una columna de humo que emergiera sin ninguna estructura de una colina podría ser un pequeño incendio o una hoguera de acampada, pero una secuencia con una pauta formada por pequeñas nubes de humo nos indicaría que alguien está usando una hoguera para enviar señales. El mismo principio se aplica a un faro o cualquier otra baliza. Así que la parte de una señal de alienígena destinada a atraer la atención de unos extraños, el «gancho», debería ser claramente *no* aleatoria, mientras que el contenido de un intercambio de información entre radioaficionados estelares probablemente sería aleatoria (suponiendo que los extraterrestres se preocupen por la eficiencia de transmisión). Para que un astrónomo comprenda que una fuente es artificial, necesita algún tipo de signatura de inteligencia o tecnología. Si la señal no se dirige directamente a nosotros, es probable que carezca de un gancho para atraer nuestra atención, pero hay otras características que podrían ponernos sobre la pista. Por ejemplo, si la fuente fuese lo bastante brillante para destacar sobre el ruido de fondo, fuera de banda estrecha y proviniera de una estrella cercana con un planeta parecido a la Tierra, no hay duda de que nos fijaríamos.

Supongamos, pues, que los astrónomos detectan una señal que de algún modo parece artificial aunque no nos indique de ninguna forma que esté dirigida específicamente a la humanidad, o se emite para el cosmos en general (como en el caso de las balizas). En términos de declaración oficial, la situación no sería demasiado distinta de la que hemos considerado en la sección anterior, y el descubrimiento debería hacerse público de la forma convencional. Pasemos entonces al caso menos probable pero más trascendente: la recepción de un mensaje elaborado deliberadamente para la humanidad.

Secretos desde las estrellas

Si una civilización extraterrestre nos enviase un mensaje personalizado, quién sabe qué pasaría. Desde el primer momento habría que tomar algunas decisiones difíciles que el grupo de trabajo de postdetección ya ha ponderado. La primera decisión sería a quién decírselo y cómo. En este escenario, casi con certeza el protocolo publicado se rompería. Personalmente, pienso que las implicaciones simplemente de recibir un mensaje así serían *tan* sorprendentes y *tan* perturbadoras que, aunque sería esencial divulgar tarde o temprano la noticia, debería intentarse por todos los medios retrasar el anuncio hasta que se haya realizado una evaluación exhaustiva del contenido, y se hayan valorado cuidadosamente todas las consecuencias de hacer pública la información a la luz de las recomendaciones del grupo de trabajo. Idealmente, la información sobre las coordenadas astronómicas del transmisor deberían restringirse a los astrónomos involucrados, por razones que comentaré enseguida. Sin embargo, como ya hemos visto, mantener en secreto un descubrimiento como éste toparía con grandes obstáculos. Incluso los gobiernos, que hasta ahora han mostrado muy poco interés en el SETI, acabarían enterándose y sin duda intentarían ponerse al mando. En mi opinión, sin embargo, cuanto menor sea la implicación del gobierno durante el estadio de evaluación, mejor. Cualquier intento de controlar en lugar de facilitar la evaluación científica sería, con toda probabilidad, contraproducente.

El modo en que se desarrollen los acontecimientos dependerá del contenido del mensaje. En primer lugar está la cuestión de la descodificación. Cabe suponer que ET no habla inglés ni ningún otro lenguaje humano, a no ser que esa inteligencia extraterrestre haya estado escuchando nuestras emisiones. Por acuerdo tácito, las matemáticas, que son culturalmente neutrales y forman la base de las leyes universales de la naturaleza, serían la *lingua franca* del discurso interestelar. En *Contacto*, de Sagan, el mensaje aparece en forma de imágenes en las que se utilizan números primos para estructurar la matriz de píxeles. Conviene recordar que ésta sería una comunicación en un solo sentido procedente de una genuina especie alienígena, no un diálogo en tiempo real con sonrisas, ceños fruncidos, dedos que apuntan ni otros gestos que los humanos utilizamos para transmitir lo que queremos decir aunque sea a unos extraños. Pero los extraterrestres pueden compartir con nosotros mucho más que matemáticas. También está la cosmografía. Vivimos en el mismo universo y posiblemente en el mismo rincón del bosque, así que no

tendríamos problemas para entender unos símbolos que denoten las estrellas y otros objetos astronómicos. Por extensión, las ideas sobre la ciencia básica que compartimos podrían comunicarse por medio de imágenes correlacionadas con símbolos. Poco a poco, podríamos ir construyendo ideas cada vez más abstractas y comenzar a aprender su lenguaje. Como es obvio, todo esto se basa en grandes suposiciones sobre la arquitectura mental de una mente alienígena. La misma noción de lenguaje y su representación simbólica ha surgido del estudio de los seres humanos. ¿Quién puede decir si los alienígenas pensarían o intentarían comunicarse del mismo modo?

Extraer significado del mensaje sería una tarea muy ardua, dificultada además por el hecho de que podría ser incompleto o estar distorsionado por el ruido. Descodificarlo podría llevar mucho tiempo, tal vez varios años de meticoloso trabajo y análisis con computadoras antes de que sepamos siquiera a qué nos estamos enfrentando. No puedo imaginar cómo se podría conseguir que a los científicos involucrados los dejasen en paz para hacer su trabajo. No obstante, un prolongado proceso de análisis haría mucho para reducir el choque cultural que seguiría al anuncio inicial. En palabras de Sagan: «La descodificación del mensaje, la comprensión de su contenido y la aplicación extremadamente cautelosa de lo que nos enseñen podría llevarnos décadas o incluso siglos... Un mensaje que se tarde tanto tiempo en descodificar y entender no sería muy... desorientador para el hombre normal y corriente».^[9.13]

Supongamos por un momento que, tarde o temprano, comienza a surgir lo esencial del mensaje. Entonces, ¿qué? Ahora sí que estamos en terreno de conjeturas. ¿Qué querría decirnos ET? El mensaje más simple sería algo parecido a «nosotros estamos aquí y vosotros allí; sólo llamamos para decir hola». Más interesante sería «os invitamos a ingresar en el Club Galáctico e intercambiar información con vuestros vecinos cósmicos». También podemos imaginar comunicaciones de contenido alarmante, como «vuestra civilización se halla en grave peligro. Hemos detectado un enorme cometa que se dirige a vuestro planeta». Luego están las misivas morales: «Nuestros instrumentos han detectado explosiones nucleares en vuestro planeta y debemos aconsejaros con firmeza que arregléis vuestros problemas; otras civilizaciones de las que tenemos noticia que habían utilizado armas nucleares no sobrevivieron durante mucho tiempo». Esta última no es probable que llegue pronto, dado que la información sobre la primera explosión nuclear no ha alcanzado más allá de setenta años luz por el espacio. No obstante, la evidencia de la primera acumulación de dióxido de carbono generado por el hombre debe haber llegado mucho más lejos. Tal vez eso suscite una advertencia del tipo de «dejad de quemar combustibles fósiles, insensatos».

Más difícil aún de sondear es el impacto de un mensaje que aporte información

científica o tecnológica importante. Lo más preocupante sería un mensaje que nos ofreciera en bandeja una tecnología revolucionaria, por ejemplo una nueva fuente de energía o una técnica para la creación fiable de formas de vida diseñadas. El problema es que el grupo que primero posea el conocimiento se encontraría en una posición de incomparable poder. Naciones, organizaciones científicas, empresas y otros grupos de interés lucharían con uñas y dientes por acceder a estas joyas del saber hacer de los alienígenas, y controlarlas. La guerra abierta podría seguir a la rebatiña por apoderarse de la información. Sólo nos cabe esperar que los extraterrestres se den cuenta de los peligros y se abstengan de repartir secretos científicos como si fueran caramelos.

Una forma menos arriesgada de que una civilización alienígena benevolente nos ofrezca ayuda tecnológica sería que nos invitaran a descargar datos científicos en algún momento del futuro, sujetos a salvaguardas y disposiciones para eludir una indecorosa rebatiña por ver quién es el primero en obtener la información, además de algunas garantías claras sobre cómo deberíamos utilizar la información en adelante. Por ejemplo, una de las esperanzas que se cultivan desde hace tiempo para resolver la crisis energética del mundo es la fusión nuclear, el proceso que alimenta el Sol. Se empezaron a realizar experimentos en la década de 1950 con expectativas de que la energía de fusión fuera una realidad comercial en menos de treinta años. En la actualidad se siguen haciendo experimentos sobre fusión nuclear, pero la promesa de una energía barata e ilimitada sigue siendo un sueño lejano. El principal obstáculo técnico consiste en hallar la forma de confinar el gas ultracaliente, que tiene tendencia a volverse inestable (este proceso es la fusión caliente, no la dudosa «fusión fría» discutida en la página 219). Una ayudita de ET podría permitir a los científicos resolver los problemas de estabilidad. Sin embargo, la repentina transformación de nuestra industria, que pasaría a estar alimentada por la fuente casi gratuita de la energía de fusión, sacudiría gravemente la economía y modificaría el paisaje geopolítico de la noche a la mañana. Varias décadas de planificación serían deseables.

Impacto sobre la ciencia, la filosofía y la política

El simple conocimiento de que existe otra comunidad tecnológica implicaría que hay, hubo y habrá muchas otras comunidades; la probabilidad de que haya dos y sólo dos civilizaciones en la galaxia es muy baja. Podríamos concluir de inmediato que los factores f_1 y f_i de la ecuación de Drake no son cercanos a cero. Entonces comenzaría en serio la búsqueda de otras civilizaciones extraterrestres, posiblemente más cerca, y se tomaría en serio la identificación de artefactos alienígenas en o alrededor de la Tierra. La astrobiología en su conjunto recibiría un gran impulso, porque si f_1 no es una cifra minúscula, podemos esperar encontrar al menos vida microbiana en muchos entornos parecidos al medio terrestre, tal vez incluso en nuestro propio sistema solar.

También se produciría un drástico cambio de paradigma entre los científicos. De acuerdo con la visión científica ortodoxa del mundo, el gran recorrido de la historia cosmológica se organiza en torno a dos principios fundamentales: el principio copernicano y la segunda ley de la termodinámica. Esta última, que ya comenté brevemente en el capítulo 6, se refiere al ineluctable aumento de la entropía en todos los sistemas físicos, con la consiguiente caída unidireccional del universo desde el orden hacia el caos hasta llegar a lo que los científicos denominan su «muerte térmica». La manifestación más llamativa de la actuación de la segunda ley es la manera en que las estrellas acaban consumiendo sus reservas de combustible nuclear y se agotan. En un futuro muy lejano, no sólo la luz de las estrellas, sino todas las formas de energía útil, acabarán disipándose completamente. Para un físico termodinámico, la historia del universo es una historia de inexorable degeneración y decadencia. «Todos somos hijos del caos», escribe el químico Peter Atkins, «y la estructura profunda del cambio es la decadencia. Al fondo de todo sólo hay corrupción y la insalvable marea del caos. No hay propósito, sólo queda dirección. Ésta es la negrura que tenemos que aceptar cuando miramos el corazón del universo de la forma más profunda y desapasionada».^[9.14]

Visto a través de los ojos de un cosmólogo, sin embargo, esos mismos hechos adquieren un matiz diferente. El universo tuvo un principio bastante anodino, como una sopa uniforme de partículas subatómicas. Con el tiempo, a través de una secuencia de procesos de autoorganización, ha ido aumentando enormemente en riqueza y complejidad. La materia se agregó formando galaxias, que a su vez se diferenciaron en estrellas. Se formaron elementos pesados que condujeron a la

formación de planetas. Los planetas produjeron rocas y nubes y huracanes y, por lo menos en un caso, vida. A partir de un puñado de humildes microbios, la vida en la Tierra se ha diversificado a lo largo de miles de millones de años hasta la prodigiosa variedad de formas elaboradas que vemos hoy. Un cosmólogo podría optar por describir la historia del universo como un enriquecimiento continuo en lugar de una imparable degeneración y decadencia. Sin embargo, estos dos relatos, el termodinámico y el cosmológico, no son contradictorios. Simplemente resaltan aspectos del cambio distintos. Son coherentes porque todo proceso de autoorganización, toda nueva especie de la vida, comporta un precio termodinámico en forma de un aumento de la entropía, acelerando el descenso hacia la muerte térmica del cosmos.

Así llegamos al aspecto que quiero discutir. La tentación de describir la acumulación de riqueza en el universo como algo «progresivo» es muy fuerte. Es como si por detrás de todo actuase un gran principio: un principio de aumento de la complejidad y la organización que se aplica a todo desde la formación de las galaxias a la evolución de la vida multicelular. Parece como si la marcha del cosmos fuese siempre hacia el frente y hacia arriba: hasta los cerebros, la cognición, la inteligencia y la sociedad tecnológica. El SETI se sitúa en lo más alto de ese movimiento ascendente, pues se basa en la suposición de que realmente existe un principio de creciente complejidad que actúa en toda la galaxia y en el universo entero, facilitando el surgimiento de la vida, la inteligencia y la tecnología allí donde tengan la oportunidad de florecer. Es una visión inspiradora. Pero ¿es creíble? La mayoría de los científicos dirían que no, rechazando estas ideas como algo cuasi religioso. En el capítulo 4 he explicado que el «progreso» es una idea muy debatida y controvertida entre los biólogos. Convive incómodamente dentro del paradigma dominante del darwinismo, que rechaza toda sugerencia de que la naturaleza pueda «mirar hacia delante» y decidir una direccionalidad sistemática y general en la evolución. En cuanto a la física y la química, décadas de investigación sobre sistemas complejos no han conseguido desvelar todavía ninguna «ley del progreso», sólo tendencias vagas y ejemplos específicos que implican circunstancias especiales. El descubrimiento de una tecnología alienígena dirimiría esta cuestión de un solo golpe, y demostraría, en contra del sentimiento científico ortodoxo dominante, que el cosmos realmente se halla sujeto a algún tipo de principio universal de progreso hacia la complejidad organizada.^[9.15]

El impacto sobre la filosofía sería igualmente profundo. Con su énfasis en la inexorable degeneración e impermanencia de todos los sistemas físicos, la visión termodinámica de la naturaleza viene estimulando, desde hace ya tiempo, una filosofía nihilista, o en el mejor de los casos una estoica aquiescencia, ante un universo sin meta que soportará una larga muerte térmica. Hace un siglo, el tan

influyente filósofo inglés Bertrand Russell escribió apesadumbrado sobre la «inexorable desesperación» que invita a aceptar la contemplación de «la vasta muerte del sistema solar».^[9.16] La visión contraria, que el universo está preñado de esperanza y potencialidad, que asciende por una escala de crecimiento hacia nuevas glorias, sostuvo las visiones opuestas de progreso hacia la utopía que defendieron los contemporáneos de Russell en la Europa continental,^[9.17] contribuyendo al auge del pensamiento socialista europeo. La misma divergencia de opinión prevalece en la actualidad. La humanidad del siglo XXI se enfrenta a un futuro incierto, y muchos científicos distinguidos son pesimistas sobre si realmente tendremos un futuro.^[9.18] En contraposición, existen predicciones de un progreso tecnológico acelerado que promete la eliminación de todos los males de la sociedad, tal como exponen Freeman Dyson^[9.19] y el futurista Ray Kurzweil.^[9.20]

El conocimiento de que una comunidad extraterrestre ha resistido durante millones de años, superando los múltiples problemas que la humanidad afronta en la actualidad, ayudaría a reavivar los sueños utópicos humanos y se erigiría en una importante fuerza unificadora en nuestro planeta. Ver reflejada en las estrellas una trayectoria de progreso humano produciría un impulso mucho mayor que cualquier retórica política. En nuestro actual estado de ignorancia, es posible creer en cualquiera de los dos relatos del futuro, pesimista u optimista. Pero saber que no somos los únicos seres sintientes en un universo misterioso y a veces aterrador significaría para la humanidad un magnífico mensaje de esperanza.

El impacto sobre la religión

Sin duda, el impacto más inmediato de un mensaje extraterrestre sería el de sacudir las religiones del mundo. El descubrimiento de *cualquier* signo de que no estamos solos en el universo podría ser profundamente problemático para las principales religiones organizadas, que se fundaron en la era precientífica y se basan en una visión del cosmos que pertenece a otra época. Por mucho que los descubrimientos cosmológicos de Copérnico, Galileo, Einstein y Hubble resultaran incómodos para las religiones, acabaron por encontrar acomodo en ellas porque la mayoría de las religiones no hacen un intento serio por describir el universo físico de manera científica. Sus mitos de la creación son poéticos y simbólicos, no factuales. Hace dos mil años, poca gente tenía la menor sospecha de que más allá del firmamento se extendiera un vasto espacio; la superficie de la Tierra y su vida *eran* la creación. La razón de que la cosmología científica, con sus miles de millones de galaxias dispersas por los abismos del espacio, no pudiera demoler la religión establecida es que la fe religiosa se ocupa de manera primordial de las *personas*, no del universo. De hecho, la mayoría de las religiones se centran en una especie particular que ha existido en un planeta de una galaxia durante apenas una milésima parte de la edad del universo, una especie de la que, sin embargo, se dice que disfruta de una relación especial con el mismísimo Arquitecto del cosmos. El peligro que plantea el SETI es que la religión no se ocupa primordialmente de la vastedad y majestuosidad del cosmos, sino de *los asuntos de los seres sintientes*.

La cristiandad es la religión más amenazada por el concepto de seres extraterrestres porque los cristianos creen que Dios se hizo humano (en la figura de un disidente político judío). Jesucristo es llamado Salvador precisamente porque vivió entre nosotros en carne y hueso para salvar a la humanidad. No vino a salvar a las ballenas o los chimpancés, ni siquiera a los neandertales, por nobles y merecedores que esas criaturas sean (o fueran). Jesucristo fue salvador específicamente del *Homo sapiens*: un solo planeta y una sola especie. La plausibilidad de una misión divina tan extraordinariamente centrada era mucho más fácil de aceptar cuando todo el mundo creía, como pasaba hace dos mil años, que sólo había una Tierra y sólo una especie inteligente, cuando nada se sabía de los desaparecidos neandertales, y apenas se había pensado en la posibilidad de que hubiera seres alienígenas en otros mundos.

El problema para la cristiandad se pone de relieve sobre todo cuando se tiene en

cuenta el estado relativo de progreso de las civilizaciones alienígenas. Como ya he subrayado, si la inteligencia está muy extendida por el universo, habrá comunidades de seres que podrían haber alcanzado nuestro estadio de desarrollo hace millones de años. Es probable que esos seres nos lleven mucha ventaja no sólo en la ciencia y la técnica, sino también en la ética. Es muy posible que hayan utilizado ingeniería genética para eliminar las conductas criminales y antisociales. Comparados con nuestras referencias, deberíamos considerarlos auténticos santos.^[9.21] Y aquí radica la verdadera crisis para el cristianismo. Si nosotros, los miserables humanos, podemos salvarnos, ¿no deberían merecer la oportunidad de salvarse también los extraterrestres virtuosos?

Así las cosas, ¿qué dice la Iglesia sobre todo esto? El problema de la vida extraterrestre, aunque desde luego no es un problema de primera línea, no ha sido del todo ignorado por los teólogos. Una búsqueda de las publicaciones pertinentes revela dos cláusulas de rescisión que permitirían la salvación de los alienígenas. La primera apela a múltiples encarnaciones: un salvador por cada especie que merece la salvación: «Dios hecho carne verde para salvar a pequeños seres verdes», es la forma directa y refrescante en que un pastor anglicano expresó para mí la idea. El problema es que supuestamente la encarnación (que significa «Dios hecho carne») es un acontecimiento único: la Biblia dice que Jesús es el *único* hijo de Dios. Para muchos cristianos la idea de encarnaciones en miles de millones de planetas es una herejía. La otra solución es suponer que sólo hay una encarnación y sólo un salvador, que ha tomado la forma del Jesucristo terrestre, y que el destino que Dios ha dado a la humanidad es «llevar la palabra» por todo el universo. Así pues, los humanos asumen la responsabilidad de una suerte de cruzada cósmica, presuntamente por radio al principio, lo que plantea la divertida posibilidad de que, si alguna vez establecemos contacto con ET, los cristianos se presenten a sí mismos como la vía para la salvación de los extraterrestres, ¡y no al contrario!^[9.22]

Las dos posibilidades que acabo de mencionar han sido objeto de reflexión por parte de teólogos, que han llegado a la tranquilizadora conclusión de que ET no representa una amenaza para el cristianismo. Considérese, si no, la reciente declaración del reverendo José Gabriel Funes, director del Observatorio Vaticano y consejero científico del papa Benedicto XVI, que es claramente optimista respecto a la inteligencia extraterrestre. «¿Cómo podemos excluir la posibilidad de que la vida se haya desarrollado en otros lugares?», observó en una entrevista a un periódico. «Del mismo modo que existe una variedad de criaturas en la Tierra, puede haber otros seres, incluso inteligentes, creados por Dios». Pero ¿supone eso un peligro para la humanidad? En absoluto, a juzgar por el padre Funes: «El extraterrestre es mi hermano».^[9.23]

Poco después de que se hiciera este comentario, se publicó una encuesta en la que

se planteó a 1.135 personas de distintas creencias la pregunta de si el descubrimiento de inteligencia extraterrestre tendría un impacto negativo sobre religiones específicas. El estudio fue realizado por el teólogo luterano Ted Peters, que ha demostrado un persistente interés en las implicaciones teológicas de los extraterrestres.^[9.24] Lo más reseñable es que muy pocas de las personas que se declararon religiosas creyeron que hubiera algún problema. La mayoría dijo que su fe podía incorporar fácilmente la existencia de seres extraterrestres avanzados sin que sus creencias más fundamentales se viesen perturbadas. Muchos de los participantes se hicieron eco de las opiniones del padre Funes, e incluso acogieron con agrado la idea de ET, pensando que contribuía a enriquecer la imagen de la creación de Dios. No obstante, la mayoría de los comentarios daban la impresión de barrer el problema debajo de la alfombra. Muy pocos de los participantes cristianos se atrevieron con el campo de minas teológico de la naturaleza única de la encarnación y la salvación específica para una especie. Unos pocos identificaron el problema, pero no expresaron soluciones nuevas.

Los cristianos no han sido siempre tan despreocupados con esta cuestión. Giordano Bruno propuso que había muchos mundos habitados, y fue condenado a morir por herejía en el año 1600.^[9.25] El terrible fin de Bruno no hizo mucho por apaciguar los debates sobre la vida extraterrestre, y la creencia en seres alienígenas se extendió por toda la Europa cristiana. Pero el terco problema de la encarnación siempre acechó desde el fondo. William Whewell fue un filósofo de la Universidad de Cambridge a principios del siglo XIX, célebre por acuñar la palabra «científico»; como Isaac Newton antes que él, fue profesor principal del Trinity College. Su posición académica ostentaba el magnífico título de profesor de Teología Moral y Divinidad Casuística. Respondiendo a la perspectiva dominante, Whewell comenzó a argumentar a favor de los seres extraterrestres, pero hacia 1850 las dudas empezaron a apoderarse de él, alimentadas precisamente por sus preocupaciones teológicas sobre la encarnación y la salvación de la humanidad. En un manuscrito inédito titulado *Astronomía y religión*, escribió:

Dios ha intercedido en la historia de la humanidad de una manera muy especial y personal... ¿Qué debemos suponer acerca de los otros mundos que la ciencia nos revela? ¿Hay un plan de salvación para todos ellos? Nuestra concepción del salvador del hombre no nos permite suponer que haya más de un salvador. El salvador que viene al hombre hecho hombre es una parte tan esencial del plan que pretender transferirlo a otros mundos, e imaginar que en ellos existe algo análogo, repugna más a nuestros sentimientos que imaginar que esos otros mundos no gozan de ningún plan divino de salvación...^[9.26]

Lo que Whewell decía es, en otras palabras, que no había extraterrestres

merecedores de ser salvados. Sus severas deliberaciones culminaron en un libro, que publicó anónimamente en 1854 y tituló *The Plurality of Worlds*, en el que intentó desplegar argumentos científicos para reafirmar lo que en esencia era una objeción cristiana a la existencia de extraterrestres.^[9.27]

No obstante, la visión contraria (que hay inúmeros planetas que albergan seres decididamente virtuosos) también ha sido popular entre los cristianos. En 1758, Emanuel Swedenborg, un científico, filósofo y místico sueco que aún hoy tiene seguidores, ofreció una salida del atolladero en un curioso librito titulado *Tierras en el universo*.^[9.28] Como muchos estudiosos del siglo XVIII, Swedenborg estaba convencido, ¡por razones teológicas!, de que había otros planetas habitados, aun en nuestro sistema solar. Llegó incluso a describir la apariencia, vestimenta, estructura familiar, prácticas religiosas, viviendas y otros aspectos mundanos de las vidas de los alienígenas, una información que aseguraba haber recibido por revelación mística. Declaraba Swedenborg que algunas sociedades extraterrestres eran decididamente idílicas. Los habitantes de Marte, por ejemplo, gozaban de un carácter mucho más amable que los terrícolas; cuando unos extraños se conocen «al instante son amigos». Además, «todo el mundo vive allí contento con lo que posee», y se toman precauciones contra «la codicia de las ganancias» para evitar que «alguien prive a otros de sus bienes». ^[9.29] Pese a esta presunta utopía marciana, Swedenborg insistía en que sólo la Tierra albergaba una encarnación. En el capítulo «Razones por las cuales el Señor deseó nacer en nuestra Tierra, y no en cualquier otra», explica su razonamiento. Dios seleccionó la Tierra con el fin de dar «la Palabra ... la Verdad Divina», con el propósito expreso de que primero había de comunicarse por todo nuestro planeta, y luego transmitirse a otros.^[9.30] Pero ¿cómo? A falta de conocimiento sobre las posibilidades de la radio, Swedenborg invocó a «espíritus y ángeles» como medio de comunicación con los extraterrestres. Para el problema de la naturaleza específica de la encarnación para una sola especie, Swedenborg tenía una pintoresca solución. Los extraterrestres eran, según decía, *también humanos*: «Hay tierras en número inmenso, habitadas por seres humanos, no sólo en este sistema solar, sino también en el cielo estrellado que tras él se extiende». ^[9.31] Así, cuando Jesucristo murió para salvar a la humanidad, la definición se amplió de forma conveniente para englobar a los alienígenas.

El concepto de Swedenborg de una Tierra teológicamente privilegiada, desde la cual «la Palabra» se extiende por el espacio como las ondas que genera una piedra lanzada en un estanque, fue adoptada en el siglo XX nada menos que por E. A. Milne, un físico matemático y cosmólogo británico de cierta distinción, que fue profesor en la Universidad de Oxford. En su libro *La cosmología moderna y la idea cristiana de Dios*, publicado en 1952, Milne escribió:

La intervención más notable de Dios en el actual proceso histórico fue, desde la perspectiva cristiana, la encarnación. ¿Se trató de un acontecimiento único, o se ha producido en cada uno del incontable número de planetas? El cristiano se horroriza ante tal conclusión. No podemos imaginar al Hijo de Dios sufriendo de igual modo en cada uno de la miríada de planetas. El cristiano evita esta conclusión por medio de la firme suposición de que nuestro planeta es, de hecho, único. ¿Qué pasa entonces con los posibles habitantes de otros planetas, si la encarnación sólo se produjo en el nuestro? [9.32]

Bien dicho. Milne lo comprendió a la perfección. Además, sugirió que el problema teológico se podría eludir si la Palabra se pudiera diseminar desde la Tierra con radiotelescopios, una mejora, desde luego, al menos en comparación con los «espíritus y ángeles» de Swedenborg. [9.33]

Esta selección de citas pone de manifiesto que la teología cristiana se encuentra en una aterradora confusión por lo que respecta a los seres extraterrestres, y que un resultado positivo del SETI abriría de inmediato una horrible caja de Pandora, pese a lo que digan las blandas palabras tranquilizadoras pronunciadas hasta el momento por los líderes religiosos. [9.34] De hecho, me atrevería a decir que el descubrimiento de alienígenas asestaría un severo golpe no sólo al cristianismo, sino a todas las religiones principales. No digo que aquello que podríamos llamar vagamente la dimensión espiritual de la vida humana haya de quedar eclipsada o que se haya de negar la creencia en algún tipo de significado o propósito general del universo. No hay duda de que los budistas seguirían buscando el sendero de la iluminación por medio de la reflexión interior, aun cuando supieran que hay vida inteligente más allá de la Tierra. Lo que sí está claro, sin embargo, es que toda teología que insista en el carácter único de lo humano estaría condenada. Qué consecuencias podría tener todo esto en forma de agitación social y política por todo el mundo no es algo que pueda predecirse. Aunque cambie con lentitud, la religión es muy adaptable. A lo largo de los siglos ha logrado reconciliarse con la cosmología copernicana, la evolución darwiniana, la secuenciación del genoma y otros desestabilizadores desarrollos científicos. De éstos, la evolución fue el más difícil de tragar a causa de la amenaza implícita que supone para el estatus único del *Homo sapiens*. El descubrimiento de seres extraterrestres avanzados representaría una amenaza mucho más explícita de la misma naturaleza y, por tanto, sería más difícil de asimilar.

De dioses y hombres. ¿Es el SETI una religión?

Los humanos tenemos la necesidad básica de percibirnos como una parte de un plan superior, de un orden natural que posee una significación más profunda y una persistencia más allá de los intrascendentes asuntos de nuestra vida cotidiana. La incongruencia entre la futilidad de la condición humana y la melancólica majestuosidad del cosmos nos compele a buscar un significado trascendente que sostenga nuestra frágil existencia. Durante miles de años este contexto más amplio fue proporcionado por la mitología y los relatos tribales. La capacidad de transportarnos que tienen esas narraciones proporcionaba a los seres humanos un asidero espiritual crucial. Todas las culturas han producido conmovedores mitos sobre el otro mundo, desde el Tiempo del Ensueño de los aborígenes australianos hasta las *Crónicas de Narnia*, desde el Nirvana del budismo hasta el Reino de los Cielos del cristianismo. Con el tiempo, los humildes relatos que se contaban alrededor de la hoguera se fueron transformando en el esplendor y ritual de la religión organizada y en grandes obras de arte y literatura. Incluso en nuestro siglo, cuando muchas sociedades han evolucionado a una fase postreligiosa, las personas siguen teniendo ansias espirituales no satisfechas. Un proyecto con el alcance y la profundidad del SETI no puede divorciarse de este contexto cultural más amplio, pues también nos ofrece la visión de un mundo transformado, con la atractiva promesa de que puede hacerse realidad cualquier día. Como bien señala el escritor David Brin, «el contacto con civilizaciones alienígenas avanzadas puede conllevar la misma significación trascendental y esperanzada que la noción más tradicional de “salvación desde lo alto”». ^[9.35] He argumentado que si estableciéramos contacto con una comunidad extraterrestre avanzada, las entidades con las que nos comunicaríamos se acercarían, a nuestros ojos, a un estatus divino. Sin duda serían más divinos que humanos; de hecho, sus poderes serían mayores que los atribuidos a la mayoría de los dioses a lo largo de la historia.

Entonces, ¿existe el peligro de que SETI se convierta en una religión de los últimos días? El escritor de ciencia ficción Michael Crichton así lo creía. «SETI es incuestionablemente una religión», espetó durante una conferencia pronunciada en 2003 en el Instituto de Tecnología de California. ^[9.36] Crichton criticaba el uso generalizado de la ecuación de Drake cuando muchos de los términos que incluye son pura conjetura. «La fe se define como la creencia firme en algo que no podemos demostrar», explicó. «La creencia en que existen otras formas de vida en el universo

es una cuestión de fe. No existe el más mínimo indicio de otras formas de vida, y en cuarenta años de búsqueda, no se ha descubierto ninguna. No tenemos la más mínima razón basada en la evidencia que sostenga esta creencia». En la misma línea, George Basalla, un historiador de la Universidad de Delaware, sostiene que la tozuda insistencia en contactar con extraterrestres tras cincuenta años de silencio delata algún tipo de fervor religioso, estimulado por un vestigio de la creencia en que los cielos están poblados por seres superiores.^[9.37] La escritora Margaret Wertheim ha estudiado la evolución del concepto de espacio y de sus habitantes a lo largo de los siglos. Encuentra los orígenes de la idea moderna de extraterrestres en escritores renacentistas como el cardenal católico Nicholas de Cusa (1401-1464), quien reflexionó sobre la posición del hombre en el universo en relación con seres celestiales como los ángeles. «Desde un punto de vista histórico, puede verse aquí el primer paso de un proceso que culminaría en la moderna idea de alienígenas», escribe Wertheim. «Al fin y al cabo, ¿qué son ET y sus compatriotas si no ángeles encarnados, seres de las estrellas hechos carne?»^[9.38]

Con la llegada de la era científica, las especulaciones sobre los seres extraterrestres pasaron de los teólogos a los escritores de ciencia ficción, pero la dimensión espiritual permaneció bajo la superficie. De manera ocasional se hace explícita, como en *Hacedor de estrellas*, de Olaf Stapledon, *Viaje a Arcturus*, de David Lindsay o *Encuentros en la tercera fase*, de Steven Spielberg, que recuerda mucho a *El progreso del peregrino*, de John Bunyan.^[9.39] Son imágenes icónicas que hallan eco en lo más profundo de la psique humana y siguen como una sombra el empeño científico por descubrir vida más allá de la Tierra. La mayoría de los astrónomos del SETI rechazan con vehemencia la idea de que en su trabajo haya una dimensión religiosa; ven la existencia de extraterrestres como una hipótesis que contrastar. Pero para muchos que no son científicos, la fascinación que produce el proyecto SETI es precisamente su cualidad casi religiosa y su tentadora promesa de sabiduría celestial e ilimitadas riquezas, de las que apenas nos separa una señal de radio.

¿QUIÉN HABLA POR LA TIERRA?

¡Llévame hasta tu jefe!

Petición de miles de alienígenas en los cómics

Gritos hacia el cielo

Imaginemos que ha llegado el día. La humanidad ha recibido un mensaje de una civilización alienígena, dirigido a la Tierra. El mensaje se ha descodificado y los extraterrestres piden establecer contacto. ¿Deberíamos responder? Y si lo hacemos, ¿qué decimos? Por encima de todo, ¿quién habla por la Tierra?

El Grupo de Trabajo de Postdetección del SETI ya ha comenzado a pelearse con estos espinosos problemas, por la sencilla razón de que algunas personas se han adelantado a los acontecimientos y han comenzado a transmitir mensajes, una práctica que se conoce como SETI activo o como METI (de Mensaje a una Inteligencia Extraterrestre, en inglés). El METI por radio se inició en firme en 1974, cuando se utilizó el radiotelescopio de Arecibo para transmitir un mensaje al grupo globular de estrellas M13, situado a 25.000 años luz. Se realizó un intento más reciente en 2009, cuando un gran radiotelescopio situado en Ucrania se usó para enviar cincuenta fotos, dibujos y mensajes de texto al sistema planetario de Gliese 581, a una distancia de veinte años luz. La diana es uno de los pocos planetas extrasolares descubiertos recientemente que, según se cree, reúnen condiciones para albergar vida.

Algunas personas son implacables en su oposición al METI, argumentando que emitir sin ton ni son hacia el espacio, atrayendo de forma deliberada la atención hacia nosotros mismos, es una imprudencia. Un temor obvio es que anunciar la existencia de nuestro magnífico planeta con vida se convierta en una invitación a que nos invadan extraterrestres. Uno de los críticos más destacados del METI es el escritor y comentarista David Brin, que acuñó la expresión «gritar al universo». Brin se muestra consternado por la actitud despreocupada de una nueva generación de fanáticos del SETI, sobre todo en la antigua Unión Soviética, que pretenden que se amplíe enormemente el programa METI de una manera casual, poco meditada y sin intentar apenas debatir la cuestión. Es cierto que el METI atrae mucha más atención que el SETI, porque al menos ocurre algo: ¡se envía un mensaje! En contraste, todos los astrónomos del SETI se dedican a escuchar pasivamente. El METI es popular entre los jóvenes cuando el contenido del mensaje se hace público; la reciente transmisión desde Ucrania fue el resultado de una competición lanzada desde una red social llamada Bebo, que se jacta de tener 12 millones de usuarios. La postura de Brin es que la prudencia debería prevalecer por encima de la popularidad. En consecuencia, ha pedido que se elabore un protocolo internacional que requiera a todas las personas

que controlen radiotelescopios que «*se abstengan de aumentar de manera significativa la visibilidad de la Tierra* con emisiones deliberadas hacia el cielo, mientras sus planes no sean debatidos en foros internacionales abiertos y con amplia aceptación [la cursiva es suya]». ^[10.1] Su manera de pensar ya ha recibido un fuerte respaldo de David Whitehouse. «Si no sabemos qué hay ahí afuera», escribe Whitehouse, «¿por qué diablos enviamos mensajes de forma deliberada hacia el espacio, con la intención de contactar con esas civilizaciones de las que no sabemos absolutamente nada?». ^[10.2]

Los defensores del METI, como Alexander Zaitsev de la Academia Rusa de Ciencias, rechazan las preocupaciones de Brin, que califican de paranoia. Señalan que ya estamos emitiendo. Nuestros programas de radio y televisión viajan por la galaxia a la velocidad de la luz, y no podemos recuperarlos. Una antena lo bastante sensible podría detectarlos y echar por tierra nuestra tapadera. No obstante, como ya he comentado, nuestras transmisiones de televisión son muy débiles. Los radares militares tienen mucha más potencia, al igual que los ocasionales pulsos de radar dirigidos a planetas y asteroides con fines científicos. Pero estos haces son esporádicos y de banda estrecha; sería fácil que ET no los detectara. Así que, al final, es muy probable que hasta el momento hayamos escapado a la detección (por lo menos por radio), incluso en el caso de que la galaxia albergara legiones de civilizaciones alienígenas armadas con enormes antenas de radio. No cabe duda de que este debate seguirá abierto durante algún tiempo, pero a mí me parece irrelevante porque, digan lo que digan científicos y analistas, la realidad es que un millonario motivado podría construir un radiotelescopio y emitir hacia el espacio hasta hartarse, y no habría mucho que pudiéramos hacer al respecto. ^[10.3] No es realista pensar que el programa METI pueda someterse a regulación; en cualquier caso, ninguna agencia internacional con capacidad para hacerlo ha mostrado el más mínimo interés por esta cuestión, en uno u otro sentido.

Por lo que a mí respecta, tengo muy claro que el peligro que representa el METI es minúsculo. El temor a lo desconocido es comprensible, pero si siempre esperásemos a estar seguros de que no hay demonios acechando desde la oscuridad, nunca haríamos ciencia ni exploraríamos el mundo. La prudencia es sabia, pero no debería producir parálisis. Necesitamos preguntarnos por qué habrían de estar interesados los alienígenas en invadirnos o hacernos daño. Si la Tierra es atractiva como hábitat para los extraterrestres, éstos lo sabrán de antemano sin necesidad de que los ayudemos. Las pruebas de la presencia de oxígeno, agua y vida vegetal se pueden obtener por métodos espectroscópicos desde una gran distancia, incluso con tecnología humana previsible. Así que volvemos a topar con la paradoja de Fermi: si fueran a venir aquí por nuestro planeta (y no por nosotros), ya lo habrían hecho hace mucho tiempo. En cualquier caso, nuestros mensajes de radio son irrelevantes si lo

que quieren es el planeta. La única información adicional que pueden extraer de las comunicaciones de radio es que la Tierra también alberga vida inteligente capaz de construir transmisores de radio. A algunas personas les preocupa la posibilidad de la esclavitud, pero eso es una necedad. Una comunidad lo bastante avanzada tecnológicamente para realizar viajes interestelares difícilmente necesitará mano de obra. Le sería más fácil construir robots o biomáquinas que hagan el trabajo no cualificado. Es más factible que nos puedan ver como un recurso cultural o una curiosidad biológica, y por tanto merecedora de ser conservada. Si es así, no hay peligro. La preocupación que expresé en el capítulo 8, en el sentido de que podrían engañarnos para construir un alienígena hostil a partir de instrucciones genéticas, no es relevante para el METI. Esa posibilidad sólo habría que examinarla con sumo cuidado si recibimos un mensaje legible que provenga de *ellos*.

El mayor peligro para la humanidad es que una comunidad extraterrestre cercana nos juzgue como una amenaza. Con la historia de guerras que tenemos, no sería una conclusión poco razonable. Los alienígenas podrían decidir lanzar una guerra preventiva por el bien del conjunto de la comunidad galáctica. ¿Cómo podríamos culparlos de ello si algunos de nuestros gobiernos han usado precisamente esa lógica contra presuntos enemigos terrestres? Si la democracia humana del siglo XXI es todo lo que tienen para juzgarnos, quizá bastaría el menor pretexto para que los extraterrestres se ocupasen de «destruir nuestras armas de destrucción masiva». Pero incluso si esta lúgubre posibilidad fuera correcta, el METI no aumentaría el riesgo de que se desatase el infierno contra nosotros. De hecho, podría resultar útil si pudiéramos hacerle entender a ET nuestras mejores intenciones, a pesar de nuestras inclinaciones belicistas en nuestra propia casa. Cuestión aparte es cómo convenceríamos a los extraterrestres de que no intentaríamos hacerlos volar por los aires con nuestros misiles y cabezas nucleares. En cualquier caso, ese mensaje sería una mentira. Los humanos venimos luchando entre nosotros desde hace miles de años por pequeñas diferencias de raza, religión o cultura. No es difícil imaginar cómo reaccionaría mucha gente ante unos seres que son *realmente* extraños, y no ya una especie distinta, sino toda una forma de vida diferente, con motivaciones desconocidas y sentimientos no humanos. El miedo y la repugnancia bien podrían suscitar la respuesta de disparar primero y preguntar después. Mi mensaje personal a ET es que le conviene «mantenerse al margen y defenderse», antes de meterse en el avispero de nuestra sociedad militarista. Mi esperanza sería que una advertencia como ésta se considere en sí misma lo bastante altruista para impedir un ataque preventivo.

Estoy a favor del METI, y no sólo porque crea que se congelará el infierno antes de que alguien detecte las señales, sino porque el acto de diseñar y transmitir mensajes a las estrellas sirve para muchos otros propósitos nobles, como el de

estimular el interés en la ciencia en general y en el SETI en particular, y en animar a la gente, y sobre todo a los jóvenes, a pensar en el significado de la humanidad y la vastedad del universo, y a reflexionar sobre los factores comunes entre nuestras diversas culturas que deseemos preservar para la posteridad. El METI es bueno para la humanidad y casi con certeza totalmente inocuo, a la vista de la probabilidad infinitesimal de que unas señales emitidas al azar sean detectadas alguna vez por una civilización malévola.

¿Qué deberíamos decir?

En el contexto actual, METI no es mucho más que una distracción inocua. La situación sería radicalmente distinta, sin embargo, si ya hubiéramos localizado una civilización extraterrestre. En ese caso, es esencial que prevalezcan los consejos más sabios. El punto 7 de la «Declaración de los principios concernientes a las actividades posteriores a la detección de inteligencia extraterrestre» de la IAA consagra la necesidad de la cautela:

No se debería enviar ninguna transmisión en respuesta a una señal u otro indicio de inteligencia extraterrestre hasta que hayan tenido lugar las conferencias internacionales apropiadas.^[10.4]

Por desgracia, la historia me ofrece muy poca confianza en la eficacia de las «conferencias internacionales».

Respecto a la cuestión de quién debería responder «oficialmente», puedo prever todo tipo de problemas. Un mensaje preparado por un comité sería una receta para el mínimo común denominador, y es probable que consista en banalidades. Una declaración de un solo dirigente político o líder religioso es demasiado horrible para contemplarla siquiera. Un popurrí de comentarios en el cual, en bien de la igualdad o la democracia, cada grupo cultural diga lo que desee, probablemente sería juzgado como un batiburrillo incoherente. Este tipo de estrategia banal ya se intentó en 1977, cuando las dos naves *Voyager*, que viajan a gran velocidad hacia el exterior del sistema solar, fueron dotadas de dos fonógrafos idénticos. Las grabaciones transmiten un saludo en cincuenta y cinco idiomas, sonidos de aves y otros animales, una selección de música que varía desde cuartetos de cuerda a rock and roll, y sombrías declaraciones escritas del presidente Jimmy Carter y el entonces secretario general de Naciones Unidas, Kurt Waldheim. Si alguna vez unos alienígenas se encontraran una *Voyager* vagando por el espacio, me horroriza pensar qué conclusiones podrían sacar de todo ello.

¿Pueden proponer algo mejor los científicos? En la pared de mi oficina tengo colgada una hermosa placa que me concedió la NASA. Se trata de una réplica de las que iban a bordo de las naves *Pioneer 10* y *11* (véase la figura 13). *La Pioneer 10* fue el primer objeto construido por el hombre que saldría del sistema solar, de modo que

la NASA consideró que sería bonito, por fútil que fuera el gesto, que llevase un mensaje dirigido a los extraterrestres. Como acto simbólico, es una gran idea, y estoy orgulloso de tener una réplica. Mi queja no es por el gesto en sí, sino por el contenido. La placa fue diseñada por Carl Sagan, Linda Salzman Sagan y Frank Drake, y muestra un dibujo de un hombre y una mujer, él con la mano levantada a modo de saludo, junto a una imagen de la nave y algunos datos técnicos. Una línea simboliza la trayectoria de la nave, y muestra que partió del tercer planeta desde el Sol. Nuestras coordenadas galácticas están codificadas de una forma muy ingeniosa, mostrando la localización y frecuencia para una serie de púlsares, de modo que una civilización distante podría reconstruir la posición del Sol en la galaxia usando sólo la geometría más elemental.

Esta placa tal vez sea inútil como señal para atraer la atención de unos alienígenas, pero dice mucho de los humanos. Un breve mensaje dirigido a una desconocida comunidad de extraterrestres probablemente debería reflejar las cosas que consideramos más significativas de nosotros mismos. La imagen está dominada por las formas humanas, pero nuestra forma física probablemente sea la cosa *menos* significativa que podemos decir. Es casi del todo irrelevante científica y culturalmente. Hablando corto y claro, ¿a quién diablos le importa qué *aspecto* tenemos?^[10.5] La mano alzada es el colmo del absurdo: un gesto culturalmente tan específico sería del todo incomprensible para otra especie, sobre todo una que carezca de miembros. Describir la procedencia de la nave dentro del sistema solar no es demasiado relevante. Una vez localizado el sistema solar, no hace falta ser un genio para descubrir cuál de los planetas alberga vida inteligente. La placa también informa de que los humanos tenemos una biología basada en el carbono. Pero no hace falta que le expliquemos química y biología a ET. El carbono es probablemente el único elemento que puede sostener la vida; en todo caso, de querer saberlo, los extraterrestres podrían buscar en la nave restos de microbios terrestres. En tercer lugar, lo más grave es que la obsesión por explicar de qué estamos hechos es casi tan provinciana como el interés por mostrar nuestra forma física. La esencia de la humanidad debe estar en lo que hacemos y pensamos, no en la composición química de nuestro cuerpo.^[10.6]

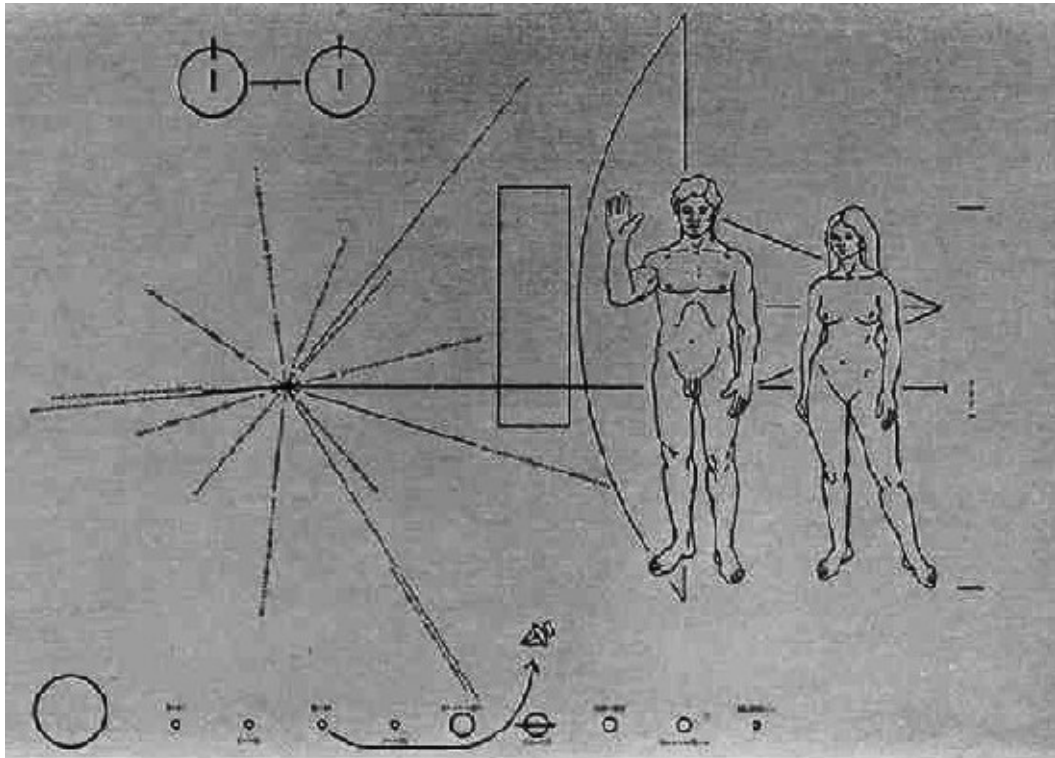


FIGURA 13. Placa de las naves *Pioneer*.

Este intento desganado por estampar nuestro sello en la comunidad cósmica destaca por su estrechez de miras y su obsesión con los asuntos humanos y la ciencia del siglo xx. Aborda el tipo de temas que aparecen en los programas de las conferencias del SETI, pero que muy difícilmente estará en los programas de las conferencias de una civilización con diez millones de años de antigüedad, especialmente si son computadoras las que realizan el trabajo intelectual más duro. Como tarjetas de presentación son, a todos los efectos, inútiles.

¿Puedo proponer algo mejor? Espero que sí. Una manera de acometer esta cuestión es imaginando que nuestra especie está a punto de ser aniquilada y queremos dejar un recuerdo de nuestra existencia, tal vez para una futura especie inteligente que evolucione en la Tierra con el paso del tiempo. ¿Qué desearíamos decir sobre nosotros mismos? ¿Qué es lo que más valoramos? ¿Qué productos de nuestra cultura son la quintaesencia de la humanidad? Podemos estar muy orgullosos de nuestros logros tecnológicos, como los alunamientos, los aceleradores de partículas o la secuenciación del genoma; o quizá no. La respuesta de mi madre al programa Apollo fue: «¿Para qué quieren ir a la Luna?». No le veía el sentido. En el gran esquema cósmico de las cosas, los productos tecnológicos pueden hacer poco por romper el hielo, sobre todo con una especie que no tenga una dicotomía entre el hemisferio izquierdo y el derecho del cerebro, sin un cisma entre arte y ciencia.

Por lo que respecta a los logros culturales, nos metemos en un terreno aún más pantanoso. Ya me he ocupado de la religión: la mayoría de las religiones son muy geocéntricas y antropocéntricas (incluso etnocéntricas), firmemente arraigadas en la psicología evolutiva y la historia humana reciente. No tendrían el más mínimo

sentido para una mente alienígena. Las grandes obras de la literatura o la poesía son igualmente provincianas, pues celebran y analizan el dominio de las relaciones y los asuntos humanos. El arte podría tener un interés más amplio, pero la belleza está en los ojos de quien mira. No es inconcebible que pueda haber principios estéticos universales, por ejemplo relacionados con la simetría.^[10.7] Incluso una mente alienígena podría ver que ciertas formas de arte visual comunican algo con lo que podría relacionarse de alguna manera muy general. Pero no hay ninguna teoría del arte que lo vincule íntimamente con el sistema cognitivo humano. Lo mismo puede decirse de la música y el humor: funcionan bien con los humanos porque compartimos una misma arquitectura neuronal. Un cerebro extraterrestre podría estar conectado de otra forma, de manera que a los alienígenas podrían gustarles cosas distintas, cosas que a nosotros seguramente nos resultarían incomprensibles. Dejo de lado el deporte, la economía y la numismática por razones que huelga enunciar.

Ante el compromiso entre contenido e inteligibilidad, haríamos bien en errar por exceso de lo segundo. De poco serviría enviar abstrusos pensamientos filosóficos sobre emergencia, postmodernismo o relativismo moral sin una librería de definiciones y una información de base. Incluso la biología es problemática: aparte del principio de la evolución darwiniana, no conocemos realmente ninguna otra ley biológica, así que comunicar los detalles del ensamblaje de proteínas o las redes de genes podría servir de muy poco. (Eso podría cambiar a medida que avancemos en nuestro conocimiento de los biosistemas).

Todo esto nos deja con las matemáticas y la física. Puede argumentarse que los productos más profundos de la mente humana son teoremas matemáticos contruidos por algunos de los pensadores más brillantes del mundo. El teorema de la incompletitud de Gödel, por ejemplo, es tan profundo que cabe la posibilidad de que ningún teorema en todo el universo pueda superarlo.^[10.8] (Me atrevo a afirmar algo así porque el teorema de Gödel es un enunciado muy general sobre lo que *no* podemos llegar a conocer o demostrar nunca, por principio, y no sobre algo concreto y conocido). La matemática ocupa un lugar inusual en nuestra cultura en el sentido de que es un producto de la mente humana, pero trasciende la mente. Cualquier ser lo bastante avanzado de cualquier lugar del universo podría demostrar los mismos teoremas a partir de los mismos principios lógicos. Como las leyes universales de la física se manifiestan en forma de elegantes regularidades matemáticas, es evidente que las matemáticas son la clave para tender un puente sobre el abismo que separa la cultura humana y una cultura extraterrestre. Si los alienígenas saben algo de ciencia, o si han desarrollado alguna tecnología avanzada, estarán familiarizados con las matemáticas. Incluso con las *mismas* matemáticas que nosotros conocemos. Por poner un ejemplo, las leyes del electromagnetismo de Maxwell se aplican, por lo que sabemos, en todo el universo, así que si unos alienígenas conocen los principios de la

radio (lo que consideramos un requisito al menos para establecer contacto por radio), entonces conocerán las ecuaciones de Maxwell. ¿Qué más? La teoría general de la relatividad de Einstein se ha descrito como el mayor logro intelectual humano; se trata, en cualquier caso, de un logro impresionante. Luego está la teoría cuántica de campos y otros resultados esotéricos de la física teórica que concuerdan bien con datos experimentales. Si los alienígenas han llegado más allá de la radio, cabe suponer que sepan cómo encajar la teoría general de la relatividad y la teoría cuántica de campos en la suma total de conocimientos sobre el universo. Si los informamos de que hemos alcanzado ese nivel de conocimiento, de algún modo les servirá de referencia para juzgar nuestro nivel de desarrollo.

El lector estará pensando: «Claro, ¿qué iba a decir? Es justo lo que se espera de un físico teórico. Davies es tan provinciano como cualquiera de nosotros». Pero puedo defender mi elección. La razón por la que me hice físico teórico es precisamente, al menos en parte, porque la matemática y la física tienen un significado universal. Estas disciplinas me resultaron atractivas porque parecen trascender los asuntos humanos y ponernos en contacto con lo más profundo de la naturaleza. Si algún día, en mi condición de presidente del Grupo de Trabajo de Postdetección del SETI, me tocase responder a ET, elegiría las ecuaciones de Maxwell, la ecuaciones de campo de la relatividad general, la ecuación de la mecánica cuántica relativista de Dirac y una selección de teoremas matemáticos. Sería como decir: «Esto es lo que podemos hacer». Y ET sabría hasta dónde hemos llegado en el largo camino por desentrañar los secretos de la naturaleza. Si alguna vez entablamos un largo diálogo y descubrimos que estamos en la misma onda intelectual, bien, entonces los humanos podremos seguir con las catedrales, los picassos o las sinfonías de Beethoven y con ellos decir: «Esto es lo que *nos* gusta. ¿Y a vosotros?».

¿Por qué el SETI?

En su cincuenta aniversario, el SETI sigue siendo un magnífico y estimulante proyecto. Sus astrónomos son tan entregados y positivos como siempre. El silencio inquietante no ha disminuido su entusiasmo ni apagado su motivación, pues siempre queda la posibilidad de que el siguiente barrido de observaciones detecte por fin algo convincente. Mientras tanto, siguen desarrollándose los equipos y los análisis rutinarios de los datos. El SETI es una de las pocas empresas humanas que *de verdad* adopta una visión a largo plazo.

En este libro he intentado explicar a qué nos enfrentamos cuando nos embarcamos en el proyecto SETI, y examinar de forma crítica los presupuestos que subyacen a la estrategia actual. He argumentado que ha llegado el momento de pensar de una manera mucho más creativa y de ampliar la búsqueda a otras vías, sin por ello comprometer el programa tradicional del SETI. Pero incluso el más ferviente de los optimistas debe admitir que las probabilidades de éxito de SETI son bajas. Tan sólo podemos apoyarnos en principios científicos generales y análisis filosóficos. Lo más que puede decirse es que no se ha dado ningún argumento totalmente convincente de por qué las civilizaciones extraterrestres *no* pueden existir.

Entonces, ¿por qué el SETI? ¿Puede justificarse este programa a la vista de sus pocas posibilidades de éxito? Yo creo que sí, por varias razones. En primer lugar, nos obliga a enfrentarnos a esas grandes preguntas sobre la existencia en las que, en cualquier caso, deberíamos pensar. ¿Qué es la vida? ¿Qué es la inteligencia? ¿Cuál es el destino de la humanidad? Como ha observado Frank Drake, el SETI es, en muchos sentidos, una búsqueda de nosotros mismos, de qué somos y qué lugar ocupamos en el universo. Cuando pensamos en civilizaciones alienígenas avanzadas, también vislumbramos el futuro de la humanidad. El inquietante silencio nos hace pensar que ese futuro no está de ningún modo garantizado.

Cincuenta años es un buen punto de referencia y una excelente ocasión para evaluar el programa. Sin duda es demasiado pronto para desanimarse y liquidarlo. Como ya he explicado, el SETI ha muestreado sólo una minúscula fracción de los hábitats potenciales. Pero resulta igualmente claro que la galaxia no es precisamente un enjambre de actividad alienígena. «Año tras año, las búsquedas de señales de radio en el espacio profundo no han dado ningún resultado», comenta David Brin, «ninguna de las ansiadas “balizas explicativas”. Ningún signo de que haya redes activas de comunicación interestelar. Ninguna traza de que ahí afuera exista alguna

civilización, nada en absoluto.»^[10.9] Entonces, ¿durante cuánto tiempo deberíamos insistir? Como la versión del SETI de la ley de Moore dice que la eficiencia de búsqueda aumenta de manera exponencial, un centenar de años de silencio sería muy distinto que dos veces cincuenta años. Con cada año que produce un resultado negativo se amplifica enormemente el significado del silencio y reafirma las conclusiones que de él podamos derivar.

La búsqueda de inteligencia extraterrestre es un ejercicio en torno al principio copernicano que dice, de forma laxa, que el lugar que ocupamos en el espacio no es especial o privilegiado de ningún modo, así que lo que ocurre en nuestra parte de la galaxia debería pasar también en otras partes. El principio copernicano no es una ley de la naturaleza, sólo una regla práctica. («¿Por qué nos creemos tan especiales?»). Es inevitable que en algún caso fracase, y cuándo lo haga es algo que reviste una enorme importancia e interés.^[10.10] El principio copernicano se aplica bien a galaxias como la Vía Láctea, a estrellas como el Sol en la galaxia y, según hemos descubierto no hace mucho, a sistemas planetarios enteros. Lo que no está tan claro es si el principio funciona o no específicamente para planetas como la Tierra en la galaxia. En la actualidad, los científicos parecen estar divididos a partes iguales entre defensores de la «Tierra rara» y de la «Tierra común», pero esa incertidumbre podría quedar rectificada dentro de poco, en cuanto lleguen los resultados de la misión Kepler de búsqueda de planetas. En cambio, ahora sabemos que dentro del sistema solar la Tierra es, de hecho, *atípica* por sus condiciones físicas, y que los científicos del Renacimiento como Huyguens y Kepler se equivocaban al tratar a nuestros planetas hermanos como iguales. Por lo que atañe a la biología, los argumentos a favor y en contra del principio copernicano se encuentran en un fino equilibrio. La balanza se podría inclinar inmediatamente a favor del principio si descubriéramos una biosfera en la sombra o una génesis independiente de la vida en Marte. Pero eso no nos lleva hasta la inteligencia o la tecnología. Es posible que el principio copernicano se aplique a todos los niveles hasta la vida compleja, pero fracase en lo que atañe a comunidades tecnológicas como la nuestra. Puede ser que seamos únicos.

Por supuesto, no podemos demostrar un negativo. Podemos seguir con el SETI durante un millón de años sin encontrar nunca el menor indicio de extraterrestres inteligentes sin que eso descarte la posibilidad de que existan. Puede haber multitud de razones excepcionales por las que nuestra búsqueda fracase. No obstante, si las búsquedas exhaustivas no revelan nada, si el silencio inquietante se torna ensordecedor, la mayoría de la gente considerará razonable suponer que, a fin de cuentas, estamos totalmente solos. Y entonces, ¿qué?

Llegar a la conclusión de que estamos solos en el universo amplificaría enormemente el valor que atribuimos a la vida y la mente, así como al planeta que la sustenta. Así que el silencio inquietante puede ser una bendición. Es verdad que, en

cierto sentido, habría que ver la vida, o al menos la vida inteligente, como una monstruosidad. Pero ¿disminuye la improbabilidad el valor, o lo engrandece? A buen seguro, intentaríamos cuidar mejor de nuestro planeta. Y tendríamos que cuidar mejor de nosotros mismos. Que consiguiéramos acabar con la única especie inteligente de todo el universo sería literalmente una tragedia de proporciones cósmicas. En el capítulo 4 discutí si el Gran Filtro se encuentra en nuestro pasado o en nuestro futuro. Si la Tierra no es tan sólo el único planeta con vida inteligente, sino también el único planeta con vida *de cualquier tipo*, es que ya hemos pasado el filtro y podríamos estar preparados para un experimento cosmológico único. Podríamos hacer nuestra misión y el destino de extendernos más allá de la Tierra, llevando con nosotros la llama de la vida, la inteligencia y la cultura para otorgar este presente a innumerables mundos estériles. Pero si descubrimos que la inteligencia está confinada a la Tierra, pero la vida compleja es común, las consecuencias son profundamente alarmantes y deprimentes, pues implicaría que la probabilidad de que evolucione la inteligencia en muchos planetas de nuestra galaxia o de otras es mucho mayor, pero que siempre ha acabado desapareciendo por guerras, accidentes tecnológicos o cualquiera de tantísimas otras causas. Salvo que tuviéramos muy buenas razones para pensar que somos muy atípicos, cabe suponer que a nosotros nos espera el mismo destino.

Así que la conclusión es sencilla. Hay tres posibilidades, cada una de ellas con repercusiones radicalmente distintas para la humanidad. La primera es un universo lleno de inteligencia, una posibilidad excitante que prometería un futuro brillante para la humanidad. La segunda es que la Tierra sea un oasis único para la vida; eso pondría una enorme carga de responsabilidad sobre nuestras espaldas, pero nos proporcionaría la misión verdaderamente cosmológica de perpetuar un fenómeno muy valioso: la llama de la razón. Pero la tercera posibilidad, la de un universo donde abunde la vida pero donde no quede nadie con quien celebrarlo, sería un presagio funesto para la humanidad.

¿Es posible que al final estemos solos? La respuesta de los tres sombreros

La gente me pregunta, sin ambages: «¿Crees que estamos solos en el universo o que ahí afuera, en algún lugar, hay otros seres inteligentes?». En este libro he intentado presentar diversos argumentos a favor y en contra, pero ha llegado el momento de que tome partido. Eso sólo puedo hacerlo poniéndome tres sombreros, uno detrás de otro. Primero me pondré el sombrero de científico. ¿Creo yo, Paul Davies, «el científico», que estamos solos? Como científico, mi mente está abierta a nuevos indicios y, por tanto, no he tomado una decisión. Puedo asignar algún tipo de probabilidad a la existencia de extraterrestres en función de los hechos y observaciones recogidos, ponderados según la importancia relativa que atribuya a distintos argumentos. Cuando destilo todo eso, mi respuesta es que probablemente seamos los únicos seres inteligentes de todo el universo, y no me sorprendería que el sistema solar contuviese la única vida del universo. Llego a esta conclusión porque veo que en el origen y la evolución de la vida intervienen muchos factores contingentes, y porque todavía no he visto ningún argumento teórico convincente de un principio universal de aumento de la complejidad organizada, del tipo que he comentado en el capítulo anterior.

Mi respuesta puede ser decepcionante para el lector. Sin duda es decepcionante para mí, Paul Davies, «el filósofo». Tocado con mi nuevo sombrero, dejo la ciencia a un lado y me pregunto qué siento acerca de la naturaleza de un universo en el que estemos solos. Francamente, me deja intranquilo. Me pregunto *para qué* sirve todo eso que hay ahí afuera si sólo el humilde *Homo sapiens* puede verlo. Desde luego, mis colegas más pragmáticos me dirán que no sirve *para* nada, que simplemente está ahí. La idea de que el universo tiene un sentido, dicen, no es más que la resaca de la religión.

Por último, está Paul Davies, el ser humano. Una de las cosas que influyeron en mi elección de carrera fue mi fascinación con la idea de que pudiera haber vida inteligente ahí afuera. Como todos los adolescentes, leí las historias de los platillos volantes y me pregunté si habría algo de cierto en ellas. Devoré la ciencia ficción de Arthur C. Clarke, Fred Hoyle, Isaac Asimov y John Wyndham, y me imaginé una galaxia vibrante con la actividad alienígena. Vi la película de Stanley Kubrick, *2001: Una odisea en el espacio*, y me regocijé en la idea de que la humanidad pudiera tener una dimensión astronómica que pronto se desvelase. Conozco a otros científicos que

siguieron el mismo camino hasta sus carreras. Mis décadas de trabajo como científico profesional no han diluido la fascinación de aquel niño asombrado; lo cierto es que me *gustaría* mucho creer que el universo es intrínsecamente propicio a la vida y a la inteligencia. Se aviene con mi temperamento el suponer que nuestros humildes esfuerzos en la Tierra, el trajín diario que consume casi todo nuestro tiempo y energía, forman parte de algo más grande y con más significado. No puedo concebir un descubrimiento más emocionante que el hallazgo de pruebas incontestables de inteligencia extraterrestre. En momentos de romanticismo, me gusta imaginar que todas las entidades inteligentes, biológicas o no, gozan de un vínculo que los une a través de la inmensidad del espacio y el tiempo, arriba y abajo de la escala de la inteligencia. Tanto si se trata de mentes cuánticas cuasi divinas que flotan en el negro vacío del espacio intergaláctico, de superciborgs al mando de cometas dirigidos, de cerebros matrioshka que envuelven agujeros negros en rotación o humildes organismos biológicos de un planeta, con grandes cerebros y fantástica tecnología, quiero saber de ellos. Así que con mi sombrero de «soñador», sí, me siento a gusto en un universo en el que abunda la vida inteligente. Es más un «deseo» que un «creo», pero es lo más lejos que puedo llegar antes de que me refrene Davis, el científico.

Y eso es lo que nos tienta del SETI. Que *no sabemos*.

APÉNDICE.

UNA BREVE HISTORIA DEL SETI

El año 2009 marcó el bicentenario del nacimiento de Charles Darwin, y el 150 aniversario de la publicación de su provocadora obra, *El origen de las especies*. Fue también el 50 aniversario del famoso artículo de Giuseppe Cocconi y Philip Morrison en el que demostraron que la comunicación interestelar por radio es factible, lo que desbrozó el camino para el proyecto Ozma de Frank Drake, que se inició el año siguiente.

Durante algún tiempo después de Ozma, el SETI fue considerado una actividad marginal por la comunidad científica. Pero eso iba a cambiar. A mediados de la década de 1960, John Billingham, un antiguo médico de la RAF en el Reino Unido, comenzó a trabajar para la NASA en el laboratorio Ames, en California. Gracias a conversaciones casuales con investigadores de exobiología de Ames, Billingham quedó prendado de la idea del SETI. Improvisó entonces una escuela de verano que tuvo como resultado un detallado informe de viabilidad llamado Project Cyclops, recopilado por Bernard Oliver, de la corporación Hewlett-Packard, que se publicó a principios de la década de 1970. Cyclops estimuló una oleada de actividad: se iniciaron proyectos de observación en la Universidad Estatal de Ohio, la Planetary Society, la Universidad de California y el Jet Propulsion Laboratory de Pasadena, además del laboratorio Ames de la NASA y varios otros grupos menores. La Unión Soviética también tenía proyectos SETI, al igual que Europa y Australia, aunque en menor medida. Cyclops también llevó al SETI al público general. Carl Sagan se convirtió en su defensor más popular. Sus libros, artículos, conferencias públicas y su exitosa serie de televisión *Cosmos* transformaron el acrónimo SETI en una palabra cotidiana.

El 20 de noviembre de 1984 se estableció el Instituto SETI en Mountain View, California, cerca del laboratorio Ames de la NASA, con el fin de coordinar las investigaciones. (Ahora se encuentra en un lugar casi adyacente a Ames). El Congreso de Estados Unidos por fin decidió en 1988 financiar una búsqueda general

del SETI para conmemorar el 500 aniversario de la llegada de Cristóbal Colón al Nuevo Mundo. Cuatro años más tarde se iniciaron las observaciones con mucha fanfarria. Pero éste iba a ser un proyecto efímero. Al cabo de un año, el Congreso cortó la financiación en medio del sentimiento general de que buscar extraterrestres no era un uso apropiado de los fondos públicos. La NASA no tardó en dejar de financiar al SETI. Desde 1993, el proyecto se ha financiado casi exclusivamente con donaciones privadas. Esto permitió que el Instituto SETI prosiguiera con el Proyecto Phoenix, una búsqueda concentrada en un millar de estrellas parecidas al Sol del hemisferio norte y del sur. También florecieron el Proyecto SERENDIP de la Universidad de California en Berkeley, y el Southern SERENDIP en Parkes, Australia. Entretanto, el interés público se incrementó gracias al proyecto SETI@home, en el que se utiliza software sencillo para adaptar los salvapantallas de ordenadores personales a fin de analizar señales de radiotelescopios, manteniendo la débil pero deliciosa esperanza de que un día un estudiante de secundaria pasará a la historia como la persona que se despierta una mañana y descubre a ET en su PC.

En la actualidad el director del Centro de Investigación del SETI en el Instituto SETI es Jill Tarter, ampliamente reconocida como la inspiración de la protagonista femenina de *Contact*. A pesar de la tibia contribución de la NASA a financiar el proyecto SETI, colabora activamente con el Instituto SETI en una gran variedad de proyectos, incluidos muchos proyectos generales de astrobiología. Frank Drake sigue trabajando como investigador activo y defensor del SETI.

BIBLIOGRAFÍA

- Benner, Steven, *Life, the Universe and the Scientific Method*, The Ffame Press, Gainesville, 2009.
- Bennett, Jeffrey, *Beyond UFOs: The Search for Extraterrestrial Life and Its Astonishing Implications for Our Future*, Princeton University Press, Princeton, 2008.
- Bracewell, Ronald, *The Galactic Club*, W. H. Freeman, San Francisco, 1975.
- Chela-Flores, Julian, *A Second Genesis*, World Scientific, Singapur, 2009.
- Crick, Francis, *Life Itself: Its Origin and Nature*, Touchstone, Nueva York, 1981.
- Crowe, Michael, *The Extraterrestrial Life Debate, 1750–1900*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986.
- Davies, Paul, *The Fifth Miracle: The Search for the Origin and Meaning of Life*, Simon & Schuster, Nueva York, 1988. (Hay trad. cast.: *El quinto milagro, la búsqueda del origen y significado de la vida*, Crítica, Barcelona, 2006.)
- , *The Origin of Life*, Penguin Books, Londres, 2003.
- Dick, Steven J., *Plurality of Worlds: The Extraterrestrial Life Debate from Democritus to Kant*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.
- (ed.), *Many Worlds: The New Universe, Extraterrestrial Life, and the Theological Implications*, Templeton Foundation Press, West Conshohocken, Pensilvania, 2000.
- Dole, Stephen H., *Habitable Planets for Man*, Elsevier, Kidlington, 1970. (Hay trad. cast.: *Planetas habitables*, Labor, Barcelona, 1973.)
- de Duve, Christian, *Vital Dust: Life as a Cosmic Imperative*, Basic Books, Nueva York, 1995.
- Dyson, Freeman, *Origins of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986. (Hay trad. cast.: *Los orígenes de la vida*, Cambridge University Press, Madrid,

1999.)

Ekers, R. D., D. Kent Cullers y John Billingham, *SETI 2020: A Roadmap for the Search for Extraterrestrial Intelligence*, SETI Press, Mountain View, California, 2002.

Feinberg, Gerald y Robert Shapiro, *Life Beyond Earth: An Intelligent Earthling's Guide to Life in the Universe*, William Morrow, Nueva York, 1980.

Gardner, James N., *Biocosm – The New Scientific Theory of Evolution: Intelligent Life is the Architect of the Universe*, Inner Ocean Publishing, Makawao, Hawai, 2003.

Gilmour, Ian y Mark Stephton (eds.), *An Introduction to Astrobiology*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

Goldsmith, Donald y Tobias Owen, *The Search for Life in the Universe*, University Science Books, Sausalito, California, 2002.

Kurzweil, Ray, *The Age of the Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence*, Viking, Nueva York, 1999. (Hay trad. cast.: *La era de las máquinas espirituales*, Planeta, Barcelona, 1999.)

Lemonick, Michael, *Other Worlds: The Search for Life in the Universe*, Simon & Schuster, Nueva York, 1998. (Hay trad. cast.: *Otros mundos: La búsqueda de vida en el universo*, Paidós, Barcelona, 1999.)

McConnell, Brian S., *Beyond Contact: A Guide to SETI and Communicating with Alien Civilizations*, O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, California, 2001.

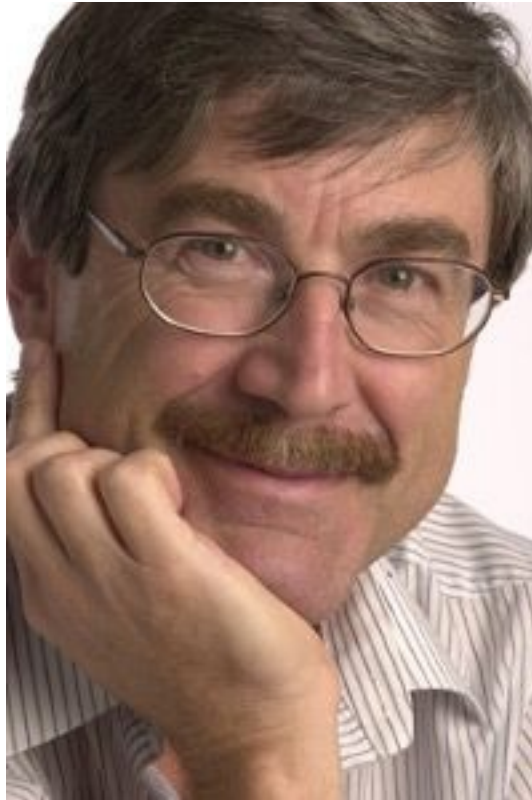
Morris, Simon Conway, *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe*, University of Cambridge, Cambridge, 2003.

Plaxco, Kevin W. y Michael Gross, *Astrobiology: A Brief Introduction*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2006.

Sagan, Carl, *Contact*, Simon & Schuster, Nueva York, 1985; Century Hutchinson, Londres, 1985. (Hay trad. cast.: *Contacto*, Plaza & Janés, Barcelona, 1987.)

—, *Cosmos*, Random House, Nueva York, 1980; Macdonald & Co., Londres, 1981. (Hay trad. cast.: *Cosmos*, Planeta, Barcelona, 2004.)

- Shapiro, Robert, *Origins: A Skeptic's Guide to the Creation of Life on Earth*, Summit Books, Nueva York, 1986. (Hay trad. cast.: *Orígenes. Lo que sabemos actualmente sobre el origen de la vida*, Salvat, Barcelona, 1989.)
- Shermer, Michael, *Why People Believe Weird Things: Pseudoscience, Superstition, and Other Confusions of Our Time*, W. H. Freeman, San Francisco, 1997. (Hay trad. cast.: *Por qué creemos en cosas raras: pseudociencia, superstición y otras confusiones de nuestro tiempo*, Alba, Barcelona, 2008.)
- Shostak, Seth, *Sharing the Universe: Perspectives on Extraterrestrial Life*, Berkeley Hills Books, Albany, California, 1998.
- , *Confessions of an Alien Hunter: A Scientist's Search for Extraterrestrial Intelligence*, National Geographic, Washington, D.C., 2009.
- Shuch, H. Paul, *Tune into the Universe: A Radio Amateur's Guide to the Search for Extraterrestrial Intelligence*, American Radio Relay League, Hartford, Conn., 2001.
- Ward, Peter y Donald Brownlee, *Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe*, Copernicus, Nueva York, 2000.
- Webb, Stephen, *If the Universe is Teeming with Aliens... Where is Everybody? Fifty Solutions to Fermi's Paradox and the Problem of Extraterrestrial Life*, Copernicus, Nueva York, 2002.



PAUL CHARLES WILLIAM DAVIES (22 de abril de 1946) es un físico, escritor y locutor británico reconocido a escala internacional. Actualmente ocupa la posición de profesor en la Universidad Estatal de Arizona, donde dirige el instituto BEYOND: Center for Fundamental Concepts in Science. Anteriormente ha ocupado cargos académicos en la Universidad de Cambridge, Universidad de Londres, Universidad de Newcastle, Universidad de Adelaida y en la Universidad de Macquarie, Sídney. Sus investigaciones se centran en el campo de la cosmología, teoría cuántica de campos, y astrobiología. Davies considera que un viaje de solo ida a Marte es una opción viable.

En 2005 aceptó la presidencia del Grupo de Trabajo de Postdetección del SETI de la Academia Internacional de Astronáutica.

En abril de 1999 el asteroide 1992 OG fue llamado oficialmente (6870) Pauldavies en su honor.

Notas

[P.1] En la actualidad, la importancia del descubrimiento de Jansky se reconoce en el nombre de la unidad para la densidad del flujo de radio, el jansky. <<

[P.2] Giuseppe Cocconi y Philip Morrison, «Searching for interstellar communications», *Nature*, vol. 184 (1959), p. 844. <<

[1.1] La unidad MHz se lee «megahercio»; el hercio es una medida de la frecuencia así bautizada en honor al físico alemán Heinrich Hertz. Equivale a 1 ciclo por segundo. 1 MHz es 1 millón de hercios. 1 gigahercio (que se escribe GHz) equivale a mil millones de hercios, o 1.000 MHz. Una frecuencia de 1.420 MHz corresponde a una longitud de onda de 21 centímetros. Un dispositivo automático permitía a Drake escanear un intervalo de frecuencia estrecha alrededor de 1.420 MHz. <<

[1.2] Una descripción más realista de cómo funciona SETI en la práctica, la ofrece Seth Shostak en su libro *Confessions of an Alien Hunter: A Scientist's Search for Extraterrestrial Intelligence* (National Geographic, 2009). <<

[1.3] El movimiento de la fuente o del receptor desplaza la frecuencia en el tiempo a causa del efecto Doppler. Sin una corrección, una señal de radio extraterrestre saldría de una banda de frecuencias bien sintonizada en cuestión de minutos. <<

[1.4] H. G. Wells, *The Ear of the Worlds*, Heinemann, Londres, 1989, p. 4. (Hay trad. cast.: *La guerra de los mundos*, Alianza, Madrid, 2005.) <<

[1.5] La motivación en la información está refrendada, por ejemplo, en T. B. H. Kuiper y M. Morris, «Searching for extraterrestrial civilizations», *Science*, vol. 196 (1977), p. 616; D. G. Stephenson, «Models of interstellar exploration», *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, vol. 23 (1982), p. 236. <<

[1.6] Prefacio de Frank Drake a *Confessions of an Alien Hunter: A Scientific Search for Extraterrestrial Intelligence*, de Seth Shostak (National Geographic, 2009), p. ix.

<<

[1.7] Carl Sagan, *Cosmos*, Random House, Nueva York, 2002, p. 339. (Hay trad. cast.: *Cosmos*, Planeta, Barcelona, 2004.) <<

[1.8] <http://www.meteorlab.com/METEORLAB2001dev/metics.htm#Thomas>. <<

[1.9] Un buen ejemplo proveniente de la física de partículas fue el descubrimiento de las partículas W y Z en el CERN a principios de la década de 1980. Los descubrimientos se anunciaron después de haber detectado tan sólo unos pocos «eventos» en el Gran Colisionador de Electrones y Positrones. Pocos científicos pusieron objeciones porque en la década anterior se había elaborado una excelente teoría que predecía la existencia de W y Z y ofrecía predicciones cuantitativas específicas de cómo debían ser estas partículas. <<

[1.10] Rupert Sheldrake es quien más cerca ha estado de proponer una teoría científica de algo como la telepatía, y realiza algunas grandes predicciones falsables, pero todavía carece de una base científica creíble y de un modelo matemático apropiado de los mecanismos implicados. Para una revisión, véase Rupert Sheldrake, *The Sense of Being Stared At: And Other Aspects of the Extended Mind*, Crown, Nueva York, 2003. <<

[1.11] En lenguaje matemático, la probabilidad a priori de que en nuestra galaxia haya una civilización que se comunique es probablemente «bimodal», es decir, o muy cercana a cero, o muy cercana a uno (una probabilidad de uno es una certeza). Nótese que en ese caso no sería legítimo asignar una probabilidad de $\frac{1}{2}$ (la media entre 0 y 1) a falta de otros indicios, del mismo modo que no podemos decir que haya una probabilidad del 50 por ciento de que haya vida después de la muerte sólo porque la mitad de la población pensara que sí y la otra mitad creyera que no. <<

[1.12] Ezequiel 1:4-28. <<

[1.13] Demócrito, según Hipólito, *Refutation of the Heresies I 13 2*, en Hermann Diels y Walther Kranz, *Die Fragmente der Vorsokratiker* (Weidmann, Zúrich, 1985), vol. 2, sección 68 A 40, p. 94. Traducción de W. K. C. Guthrie, *A History of Greek Philosophy: Presocratic Tradition from Parmenides to Democritus* (Cambridge University Press, 1965), vol. 2, p. 405. (Hay trad. cast.: *Historia de la filosofía griega 2: La tradición presocrática desde Parménides a Demócrito*, Gredos, Madrid, 1994.)

<<

[1.14] *The Roman Poet of Science, Lucretius: De Rerum Natura Book II*, traducción de Alban Dewes Winspear, The Harbor Press, Nueva York, 1955. (Hay trad. cast.: *La naturaleza*, Gredos, Madrid 2003.) <<

[1.15] *Kepler's Conversation with Galileo's Sidereal Messenger*, traducción de Edward Rosen, Johnson reprint, Nueva York y Londres, 1965, p. 42. (Hay trad. cast.: *La gaceta sideral: conversaciones con el mensajero sideral*, Alianza, Madrid, 2007.) <<

[1.16] <http://ufos.nationalarchives.gov.uk/> <<

[1.17] Edward Condon, *Scientific Study of Unidentified Flying Objects*, University of Colorado, Boulder, 1968. <<

[1.18] J. B. S. Haldane, *Possible Worlds: And Other Essays*, Chatto and Windus, Londres, 1932, p. 286. <<

[2.1] *Washington Post*, 20 de julio de 2008. <<

[2.2] Francis Crick, *Life Itself: Its Origin and Nature*, Simon & Schuster, Nueva York, 1981, p. 88. <<

[2.3] Jacques Monod traducción de A. Wainhouse, *Chance and Necessity*, Collins, Londres, 1972, p. 167. (Hay trad. cast.: *El azar y la necesidad*, Tusquets, Barcelona, 1989.) <<

[2.4] George Gaylord Simpson, «The non-prevalence of humanoids», *Science*, vol. 143 (1964), p. 769. <<

[2.5] Christian de Duve, *Vital Dust: Life as a Cosmic Imperative*, Basic Books, Nueva York, 1995. <<

[2.6] <http://www.telegraph.co.uk/scienceandtechnology/science/space/4629672/AAAS-One-hundred-billion-trillion-planets-where-alien-life-couldflourish.html>. <<

[2.7] J. William Schopf y Bonnie M. Packer, «Newly discovered early Archean (3.4-3.5 Ga Old) microorganisms from the Warrawoona Group of Western Australia», *Origin of Life and Evolution of Biospheres*, vol. 16, n.º 3-4 (1986), p. 339. <<

[2.8] A. Allwood, «Stromatolite reef from the Early Archaean Era of Australia», *Nature*, 8 de junio de 2006, p. 714. <<

[2.9] He discutido a fondo este proceso en mi libro *The Fifth Miracle*, Simon & Schuster, Nueva York, 1998; Allen Lane, The Penguin Press, Londres, 1998; publicado en una edición revisada en el Reino Unido con el título *The Origin of Life*, Penguin, Londres, 2003. (Hay trad. cast.: *El quinto milagro: en busca de los orígenes de la vida*, Crítica, Barcelona, 2006.) <<

[2.10] Gerda Horneck *et al.*, «Microbial rock inhabitants survive hypervelocity impacts on Mars-like host planets: first phase of lithopanspermia experimentally tested», *Astrobiology*, vol. 8, n.º 1 (2008), p. 17. <<

[2.11] Fred Hoyle, *The Intelligent Universe*, Michael Joseph, Londres, 1983, pp. 18-19.
(Hay trad. cast.: *El universo inteligente*, Grijalbo, Barcelona, 1985.) <<

[2.12] George Whitesides, «The improbability of life», en John D. Barrow, Simon Conway Morris, Stephen J. Freeland y Charles L. Harper (eds.), *Fitness of the Cosmos for Life: Biochemistry and Fine-Tuning*, Cambridge University Press, Cambridge, 2004, p. XIII. <<

[2.13] *Ibíd.*, p. xv. <<

[2.14] *Ibíd.*, p. xvii. <<

[2.15] **Ibíd.** <<

[2.16] Tal vez haya otras combinaciones de moléculas, también aleatorias en el sentido de no manifestar ninguna pauta, que podrían representar otra forma de vida. Lo importante es que las secuencias moleculares biológicamente funcionales ocupan una fracción diminuta del espacio total de secuencias, aunque existan muchas regiones desconectadas que correspondan a una posible funcionalidad biológica. <<

[2.17] Para dejarlo bien claro, cuando digo milagro en un sentido coloquial, *no* estoy sugiriendo que el origen de la vida haya sido el producto de alguna intervención divina. Creo que fue un proceso completamente natural, aunque quizá extraordinariamente improbable. <<

[2.18] Permítaseme que sea explícito: si se examina una cadena de cincuenta aminoácidos y se intenta averiguar sobre una base única matemática cuál será el siguiente aminoácido a partir de la secuencia previa, no se logrará mayor precisión que la que ofrece el azar. Lo mismo vale para las secuencias de pares de bases del ADN. <<

[2.19] Paul Davies, *The Cosmic Blueprint*, ed. rev., Templeton Foundation Press, West Conshohocken, Pensilvania, 2004. Véase también el último capítulo de *El quinto milagro*. <<

[2.20] Una buena introducción a este campo en William Poundstone, *The Recursive Universe*, William Morrow, Nueva York, 1996. Puede encontrarse una explicación más profunda (y polémica) en Stephen Wolfram, *A New Kind of Science*, Wolfram Media, Champaign, Illinois, 2002. <<

[2.21] A. G. Cairns-Smith, *Seven Clues to the Origin of Life*, Cambridge University Press, Cambridge, 1986. (Hay trad. cast.: *Siete pistas sobre el origen de la vida: una historia científica en clave detectivesca*, Alianza, Madrid, 1990.) <<

[2.22] Análisis un modelo específico en «It's a quantum life», *Physics World*, vol. 22, n.º 7 (2009), p. 24. <<

[2.23] Marte sigue siendo el favorito, pero Europa, una luna de Júpiter, es otra morada posible para la vida primitiva. Es un cuerpo cubierto de hielo con un océano líquido debajo, calentado por la fricción causada por las mareas. En su órbita alrededor de Júpiter, Europa es deformada por el campo gravitatorio del planeta gigante, que alarga todo el satélite, incluido el núcleo sólido. Este proceso genera una gran cantidad de calor por fricción. Otro cuerpo que reviste un gran interés es Titán, el satélite más grande de Saturno. En 2008, se hizo descender en paracaídas hasta la superficie de Titán una pequeña sonda llamada *Huygens*, revelando un mundo gélido con ríos y lagos de etano y metano líquido, rocas de hielo de agua, y una gruesa atmósfera de *smog* petroquímico. Este cóctel letal acabaría con la vida terrícola en un instante, pero algunos científicos han imaginado una exótica vida propia de bajas temperaturas para la cual el agua líquida es reemplazada por un solvente distinto, y el metabolismo se basa en la conversión de acetileno a metano. <<

[2.24] Salvo que, por un perverso golpe de mala suerte, Marte albergue dos formas de vida con quiralidad opuesta y parecida densidad de población. <<

[3.1] Kevin Maher y David Stevenson, «Impact frustration of the origin of life», *Nature*, vol. 331 (1988), p. 612. <<

[3.2] Sugerí esta idea en 1988 en mi libro *El quinto milagro*. Un estudio detallado se puede encontrar en Lloyd E. Wells, John C. Armstrong y Guillermo González, «Reseeding of early earth by impacts of returning ejecta during the late heavy bombardment», *Icarus*, vol. 162, n.º 1 (2003), p. 38. <<

[3.3] La expresión «biosfera en la sombra» fue acuñada por Carol Cleland y Shelley Copley de la Universidad de Colorado en su artículo «The possibility of alternative microbial life on Earth», *International Journal of Astrobiology*, vol. 4 (2005), p. 165.

<<

[3.4] Richard Dawkins, *The Ancestor's Tale*, Houghton Mifflin, Boston, 2004; Weidenfeld & Nicolson, Londres, 2004. (Hay trad. cast.: *El cuento del antepasado*, Antoni Bosch, Barcelona, 2008.) <<

[3.5] Paul C. W. Davies y Charley H. Lineweaver, «Search for a second sample of life on Earth», *Astrobiology*, vol. 5, n.º 2 (2005), p. 154. <<

[3.6] Paul Davies, Steven Benner, Carol Cleland, Charley Lineweaver, Chris McKay y Felisa Wolfe-Simon, «Signatures of a shadow biosphere», *Astrobiology*, vol. 9, n.º 2 (2009), p. 1. <<

[3.7] Stephen Jay Gould, «Planet of the Bacteria», *Washington Post Horizon*, vol. 119 (1996), p. 344. <<

[3.8] Esto es una simplificación. Aunque algunos organismos sólo pueden usar los gases inorgánicos hidrógeno y dióxido de carbono como nutrientes, otros aprovechan indirectamente la biología de la superficie a través del oxígeno disuelto o las sustancias orgánicas que provienen de las capas superficiales del océano bañadas por la luz. <<

[3.9] Thomas Gold, *The Deep Hot Biosphere*, Springer, Nueva York, 1998. Para una revisión actualizada, véase Bo Barker Jorgensen y Steven D'Hondt, «A starving majority deep beneath the sea floor», *Science*, vol. 314 (2006), p. 932. <<

[3.10] El lector hallará una revisión en mi libro *El quinto milagro*. <<

[3.11] T. O. Stevens y J. P. McKinley, «Lithoautotrophic microbial ecosystems in deep basalt aquifers», *Science*, vol. 270 (1995), p. 450; D. R. Lovley, «A hydrogen-based subsurface microbial community dominated by methanogens», *Nature*, vol. 415 (2002), p. 312; L. H. Lin, *et al.*, «Long-term sustainability of a high-energy, low-diversity crustal biome», *Science*, vol. 314 (2006), p. 479. <<

[3.12] Los astrobiólogos especulan que en Marte podría haber ecosistemas subsuperficiales parecidos; de ahí el entusiasmo que produjo el hallazgo de metano en la atmósfera marciana hace unos años. <<

[3.13] Según alguna definición, los virus son seres vivos, de modo que el hallazgo de un virus extraño también contaría como descubrimiento de vida extraña. Los virus son un caso marginal, porque no pueden reproducirse sin la ayuda de una célula, así que no son organismos autónomos. Pero si encontramos virus extraños, es probable que las células extrañas estén muy lejos. <<

[3.14] Si el experimento rediseñado de liberación de marcadores de Gil funciona bien en la Tierra, el siguiente paso sería enviarlo a Marte para aclarar el misterio de las *Viking* de una vez por todas. <<

[3.15] Como ya he explicado, cuando llamo a estos intrusos «alienígenas», es en el sentido de «otros». No implica que «vengan del espacio exterior», por decirlo con la expresión más propia de la ciencia ficción, aunque sigue siendo una posibilidad. Podrían proceder de Marte, pero lo mismo podría decirse de nuestros antepasados más lejanos. <<

[3.16] P. C. W. Davies, E. V. Pikuta, R. B. Hoover, B. Klyce y P. A. Davies, «Bacterial utilization of L-Sugars and D-amino acids», Actas del 47.º Congreso Anual de SPIE, San Diego, agosto de 2006, 63090A. <<

[3.17] Steven Benner, *Life, the Universe and the Scientific Method*, The Ffame Press, Gainesville, Florida, 2009. <<

[3.18] Ariel Anbar, Paul Davies y Felisa Wolfe-Simon, «Did nature also choose arsenic?», *International Journal of Astrobiology*, vol. 8 (2009), p. 69. <<

[3.19] En lenguaje técnico, ofrece un potencial redox al permitir que el arsenato pueda ser reducido a arsenito, liberando energía en el proceso. <<

[3.20] Por ejemplo, mediante espectrometría de masas, que puede medir los pesos relativos de las moléculas y, por consiguiente, ordenar los compuestos orgánicos en categorías. <<

[3.21] Hay un factor adicional que complica las cosas. Al discutir «el origen de la vida» he asumido de forma tácita que existe una clara demarcación entre los estados «vivo» y «no vivo», de manera que la biogénesis es un estado bien definido. Pero esto puede ser una simplificación injustificada. Tal vez no exista una línea clara que separe lo vivo de lo inerte, sino más bien una vía química continua y extendida de estados de complejidad cada vez mayor. <<

[3.22] Agradezco a Felisa Wolfe-Simon que me haya llamado la atención sobre este ejemplo. <<

[3.23] Brent C. Christner, Cindy E. Morris, Christine M. Foreman, Rongman Cai y David C. Sands, «Ubiquity of biological ice nucleators in snowfall», *Science*, vol. 319 (2008), p. 1214. <<

[3.24] R. L. Folk, «SEM imaging of bacteria and nanobacteria in carbonate sediments and rocks», *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 63 (1993), p. 990. <<

[3.25] Philippa J. R. Uwins, Richard I. Webb, y Anthony P. Taylor, «Novel nano-organisms from Australian sandstones», *American Mineralogist*, vol. 83 (1998), p. 1541. <<

[3.26] E. O. Kajander y N. Ciftcioglu, «Nanobacteria: an alternative mechanism for pathogenic intra and extracellular calcification and stone formation», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 95 (1998), p. 8274. <<

[3.27] Benner, *Life, the Universe and the Scientific Method*, pp. 122-123. <<

[3.28] Para una explicación detallada del meteorito de Marte, véase mi libro *El quinto milagro*. <<

[3.29] J. Martel y J. D. E. Young, «Purported nanobacteria in human blood as calcium carbonate nanoparticles», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 8 de abril de 2008, vol. 105, n.º 14 (2008), p. 5549. <<

[3.30] Jocelyn Selim, «Venter's ocean genome voyage», *Discover online*, 27 de junio de 2004. <<

[4.1] Charles Darwin, *On the Origin of Species*, John Murray, Londres, 1859, última página. (Hay trad. cast.: *El origen de las especies*, Alianza, Madrid, 2010.) <<

[4.2] H. J. Jerison, *Evolution of the Brain and Intelligence*, Academic Press, Nueva York, 1973. El cociente esperado entre el tamaño del cerebro y del cuerpo se calcula por medio de una ley alométrica, elaborada a partir de los datos de muchos animales, que se basa en la suposición de que la masa del cerebro debe variar en proporción a la potencia $2/3$ de la masa corporal, que es el cociente que corresponde a la relación entre área y volumen. Esta suposición, así como la propia idea del CE como medida de la inteligencia, ha sido objeto de críticas. Véase, por ejemplo, Robert O. Deaner, Karin Isler, Judith Burkart y Carel van Schaik, «Overall brain size, and not encephalization quotient, best predicts cognitive ability across non-human primates», *Brain, Behavior and Evolution*, vol. 70 (2007), p. 115. <<

[4.3] Véase, por ejemplo, <http://serendip.brynmawr.edu/bb/kinser/Int3.html>. <<

[4.4] Éste es el tipo de crecimiento característico de la expansión sin restricciones, tal que la cantidad se duplica en un tiempo fijo. Véase, por ejemplo, D. A. Russell, «Exponential evolution: implications for intelligent extraterrestrial life», *Advances in Space Research*, vol. 3, p. 95 (1983). <<

[4.5] Stephen Jay Gould, *Wonderful Life*, Norton, Nueva York, 1990. (Hay trad. cast.: *La vida maravillosa*, Crítica, Barcelona, 2006.) <<

[4.6] Véase, por ejemplo, Simon Conway Morris, *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003. Otro factor que debilita el argumento de Gould es que no tiene en cuenta los mecanismos de realimentación que sirven para reforzar las tendencias evolutivas. Véase Robert Wright, *Nonzero: The Logic of Human Destiny*, Pantheon, Nueva York, 2000. (Hay trad. cast.: *Nadie pierde: la teoría de juegos y la lógica del destino humano*, Tusquets, Barcelona, 2005.) <<

[4.7] Lineweaver articula este argumento en una revisión del libro de Peter Ulmschneider, *Intelligent Life in the Universe*, en *Astrobiology*, vol. 5, n.º 5 (2005), p. 658. Véase también C. H. Lineweaver, «Paleontological tests: human-like intelligence is not a convergent feature of evolution», en J. Seckbach y M. Walsh (eds.), *From Fossils to Astrobiology*, Springer, Nueva York, 2009, p. 353. <<

[4.8] Christopher P. McKay, «Time for intelligence on other planets», en Laurance R. Doyle (ed.), *Circumstellar Habitable Zones, Proceedings of the First International Conference*, Travis House Publications, Menlo Park, California, 1996, p. 405. <<

[4.9] Véase, por ejemplo, Lori Marino, «Convergence of complex cognitive abilities in Cetaceans and Primates», *Brain, Behavior and Evolution*, vol. 59 (2002), p. 21. <<

[4.10] Véase, por ejemplo, Mircea Eliade (traducción de Willard R. Trask), *The Myth of the Eternal Return*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1971. (Hay trad. cast.: *El mito del eterno retorno*, Alianza, Madrid, 2009.) <<

[4.11] Joseph Needham y colaboradores, *Science and Civilization in China*, 7 vols., Cambridge University Press, Cambridge, 1954. <<

[4.12] En realidad, el número de interés para el SETI es la tasa de formación de estrellas hace varios miles de millones de años. <<

[4.13] Por otro lado, los planetas errantes podrían no ofrecer buenas expectativas para las formas de vida avanzadas, aunque no podemos estar seguros. La ecuación de Drake también omite la posibilidad de que algunos planetas puedan adquirir vida o inteligencia al ser colonizados en lugar de surgir *de novo*. Ésta es una cuestión que comento en el capítulo 6. <<

[4.14] Paso por alto el tiempo de viaje de la luz cuando digo «ahora», pues el argumento básico no se ve afectado. <<

[4.15] Michael Shermer, «Why ET hasn't called», *Scientific American*, 15 de julio de 2002. <<

[4.16] Un buen ejemplo de lo que presuntamente es una coincidencia de dos escalas de tiempo causalmente independientes es el ciclo lunar y el ciclo menstrual, ambos de alrededor de 28 días. <<

[4.17] Carl Sagan, «The abundance of life-bearing planets», *Bioastronomy News*, vol. 7, n.º 4 (1995), p. 1. <<

[4.18] Brandon Carter, «The anthropic principle and its implications for biological evolution», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. A 310 (1983), p. 347. <<

[4.19] Robin Hanson, «The great filter: are we almost past it?», <http://hanson.gmu.edu/greatfilter.html> (1998). <<

[4.20] Como ya he explicado, esta hipótesis era ampliamente aceptada cuando Carter formuló su argumento alrededor de 1980. <<

[4.21] Brandon Carter, «Five or six step scenario for evolution?», *International Journal of Astrobiology*, vol. 7 (2008), p. 177. <<

[4.22] A falta de una razón especial en sentido contrario, debemos suponer que los humanos son observadores típicos. La argumentación de Carter es coherente con esa suposición de una naturaleza típica, pues supongamos que concebimos un enorme volumen de espacio, mucho mayor que todo el universo observable, y nos centramos en la subclase de todos los (según Carter, extraordinariamente raros) planetas con observadores inteligentes. Entonces la Tierra debería ser un miembro típico de esa subclase; y por lo que sabemos así es. En cambio, si Carter se equivoca y la vida inteligente es muy probable y aparece con rapidez, como los humanos hemos tardado tanto en evolucionar en la Tierra, deberíamos ser observadores atípicos. <<

[4.23] Una explicación alternativa es, por supuesto, que no estamos solos, pero que los extraterrestres todavía no han manifestado su existencia de un modo que nosotros hayamos percibido. Por ejemplo, podrían haber dejado de emitir por radio al cabo de poco tiempo. <<

[4.24] Véase, por ejemplo, John Leslie, *The End of the World: The Science and Ethics of Human Extinction*, Routledge, Londres, 1996, y Martin Rees, *Our Final Century*, Arrow Books, Londres, 2004. (Hay trad. cast.: *Nuestra hora final: ¿será el siglo XXI el último de la humanidad?*, Crítica, Barcelona, 2004.) <<

[4.25] Nick Bostrom, «Where are they? Why I hope the search for extraterrestrial life will find nothing», *MIT Technology Review*, mayo/junio (2008), pp. 72, 77. <<

[5.1] Abraham Loeb y Matias Zaldarriaga, «Wavesdropping on radio broad-casts from galactic civilizations with upcoming observatories for redshifted 21cm radiation», astro-ph/0610377 (octubre de 2006). Los autores estiman que los pulsos de la intensidad del radar militar, mucho más potentes, podrían detectarse con el SKA desde una distancia de hasta 650 años luz, con un tiempo de integración de un mes.

<<

[5.2] La sensibilidad de un instrumento depende no sólo del área de captación, sino también del algoritmo informático utilizado para separar la señal del ruido. Investigaciones recientes de Claudio Maccone sugieren que una técnica conocida como transformación KL, en honor a los matemáticos Kari Karhunen y Maurice Loève, que la propusieron en 1949, podría mejorar la sensibilidad en un factor de hasta mil. <<

[5.3] John G. Learned, Sandip Pakvasa y A. Zee, «Galactic neutrino communication», *Physics Letters B*, vol. 671, n.º 1 (2009), p. 15. <<

[5.4] Las modernas señales de faro también llevan codificada información para identificarlos. <<

[5.5] Los ejemplos del principio de esta sección se sitúan dentro de la categoría del «SETI activo» o METI (Mensajes a Inteligencias Extraterrestres, en sus siglas en inglés), un tema polémico sobre el que volveremos en el capítulo 9. <<

[5.6] Respecto a mis anteriores comentarios en el sentido de que la conservación de energía es una preocupación antropocéntrica, distingo entre el caso de que la energía no sea un problema prioritario para los alienígenas y el hecho de que la malgasten deliberadamente sin ningún buen motivo. Aunque la energía fuera barata, todavía habría que adquirirla. <<

[5.7] Gregory Benford, James Benford y Dominic Benford, «Cost optimized interstellar beacons: SETI», en preparación. <<

[5.8] En 1989, Sagan y Horowitz analizaron treinta y siete pulsos inexplicados, y aunque las fuentes mostraban una tendencia a agruparse en el plano galáctico, los autores llegaron a la conclusión de que no constituían un indicio fuerte de inteligencia extraterrestre. <<

[5.9] M. J. Rees, «A better way of searching for black-hole explosions?», *Nature*, vol. 266 (1977), p. 333. <<

[5.10] El núcleo interior de la galaxia, dentro de un radio de unos mil años luz desde el centro, no es un lugar prometedor para buscar vida avanzada, por razones que explicaré en la sección siguiente. <<

[5.11] Robert A. Rohde y Richard A. Muller, «Cycles in fossil diversity», *Nature*, vol. 434 (2005), p. 208. <<

[5.12] Mikhail V. Medvedev y Adrian L. Melott, «Do extragalactic cosmic rays induce cycles in fossil diversity?», *Astrophysical Journal*, vol. 664 (2007), p. 879. <<

[5.13] Los lectores preocupados pueden quedar tranquilos: el sistema solar se encuentra actualmente en el plano galáctico y lejos de la zona de peligro. <<

[5.14] Una estrella de neutrones es el resto del núcleo de una estrella grande que ha sufrido una implosión a causa de su inmenso peso, formando una bola de neutrones de enorme densidad, por lo general de apenas unos kilómetros de diámetro, pero con una masa superior a la del Sol. <<

[5.15] William H. Edmondson y Ian R. Stevens, «The utilization of pulsars as SETI beacons», *International Journal of Astrobiology*, vol. 2, n.º 4 (2003), p. 231. <<

[5.16] Incluyo la inteligencia de computadoras en la definición de inteligencia extraterrestre por razones que discutiré más adelante, en el capítulo 7. La conversación sería directamente con la sonda, no con quienes la enviaron. <<

[5.17] Ronald N. Bracewell, «Communications from superior galactic communities», *Nature*, vol. 186 (1960), p. 670. Reimpreso en A. G. Cameron (ed.), *Interstellar Communication*, W. A. Benjamin, Inc., Nueva York, 1963, p. 243. <<

[5.18] Se trata de una órbita con un período de un día, de manera que el satélite parece estar estacionario en un punto fijo sobre la Tierra. Los satélites de las televisiones son de este tipo. <<

[5.19] También hay puntos de Lagrange para el par Tierra-Luna, que han sido objeto de búsquedas limitadas. <<

[5.20] Durante muchas décadas se han detectado ecos de 5 a 10 segundos, que siguen siendo algo misteriosos. Véase Volker Grassmann, «Long-delayed radio echoes: observations and interpretations», *VHF Communications*, vol. 2, 109 (1993). <<

[5.21] John von Neumann, editado y completado por Arthur W. Burks, «The theory of self-reproducing automata», University of Illinois Press, Urbana, Illinois, 1966. <<

[5.22] El texto de este discurso, pronunciado en el Instituto de Tecnología de California (CalTech), está reproducido en http://www.mrs.org/s_mrs/doc.asp?CID=8969&DID=195829. <<

[5.23] Este escenario y el término «gray goo» (plasta gris o plaga gris) fueron introducidos por el pionero de la nanotecnología Eric Drexler en su libro, *Engines of Creation*, Doubleday, Nueva York, 1986; Anchor Books, Peterborough, 1986. (Hay trad. cast.: *La nanotecnología: El surgimiento de las máquinas de creación*, Gedisa, Barcelona, 1993.) <<

[5.24] En sentido estricto, un virus no es una máquina de Von Neumann porque no puede reproducirse sin ayuda, sino que tiene que infectar a una célula hospedadora para fabricar réplicas. <<

[5.25] Esta idea fue discutida hace muchos años por Francis Crick, quien especulaba que los extraterrestres habían propulsado unos microbios por el espacio junto con un «kit inicial» para incubarlos, con el propósito de sembrar la Tierra y otros planetas con vida, en lugar de enviar un mensaje. Véase Francis Crick y Leslie E. Orgel, «Directed panspermia», *Icarus*, vol. 19, p. 341 (1973), y Francis Crick, *Life Itself: Its Origin and Nature*, Simon & Schuster, Nueva York, 1981. <<

[5.26] Otra estrategia consistiría en introducir moléculas portadoras de información que no fueran ADN pero sí afines al ADN; estarían hechas a partir de elementos básicos distintos del conjunto estándar de la vida conocida (A, C, G, T), y habrían sido elegidas por su estabilidad química y baja tasa de mutación. Para que esta idea funcionase, estos elementos tendrían que poder ser replicados con precisión por la maquinaria bioquímica de la vida estándar. <<

[5.27] Esta idea ha sido investigada a lo largo de muchos años por Fred Hoyle y Chandra Wickramasinghe. Véase, por ejemplo, F. Hoyle y N. C. Wickramasinghe, «Astronomical Origins of Life», en *Astrophysics and Space Science*, vol. 268 (2000), que ha reimprimido buena parte de sus primeros trabajos. <<

[5.28] H. Yokoo y T. Oshima, «Is bacteriophage phi X174 DNA a message from an extraterrestrial intelligence?», *Icarus*, vol. 38, p. 148 (1979). <<

[6.1] De Arthur Conan Doyle, *The Sign of the Four*, en *Lippincott's Monthly Magazine*, febrero de 1890. <<

[6.2] Stephen Webb, *If the Universe is Teeming with Aliens... Where Is Everybody? Fifty Solutions to Fermi's Paradox and the Problem of Extraterrestrial Life*, Copernicus Books, Nueva York, 2002. <<

[6.3] Ronald Bracewell, *The Galactic Club*, Freeman, San Francisco, 1975. <<

[6.4] Stephen Hawking, «Chronology protection conjecture», *Physical Review D*, vol. 46 (1992), p. 603. <<

[6.5] Tampoco hay indicios, y muy poco respaldo teórico, de agujeros de gusano del tamaño de un astronauta. Son más factibles los ultramicroscópicos. <<

[6.6] Algunas personas depositan sus esperanzas en la empresa privada del espacio. Hasta el momento, el programa espacial del sector privado se ha limitado a algunos paseos de recreo, pero en el caso de una plena comercialización del espacio, la industria privada podría superar a las agencias gubernamentales en la exploración y turismo espacial. <<

[6.7] George Dyson, *Project Orion: The True Story of the Atomic Spaceship*, Henry Holt, Nueva York, 2002. <<

[6.8] Seth Shostak, *Confessions of an Alien Hunter: A Scientist's Search for Extraterrestrial Intelligence*, National Geographic, Washington, D.C., 2009, p. 264.

<<

[6.9] Geoffrey Landis, «The Fermi paradox: an approach based on percolation theory», *Journal of the British Interplanetary Society*, vol. 51, p. 163 (1998). <<

[6.10] Robin Hanson, «The rapacious hardscrapple frontier», en Damien Broderick (ed.), *Year Million: Science at the Far Edge of Knowledge*, Atlas Books, Ashland, Ohio, 2008, p. 168. <<

[6.11] Esta consideración es irrelevante si los colonos son máquinas no biológicas. En ese caso, la biología autóctona de la Tierra podría resultarles atractiva como materia prima para la construcción de biomáquinas que les asistan en sus empresas. Resulta fascinante especular sobre la posibilidad de que todavía persistan algunos descendientes de estas creaciones alienígenas descartadas, formando una biosfera en la sombra que todavía no hemos detectado. Pero hay una posibilidad aún más espectacular: que los alienígenas visitaron la Tierra hace 3.500 millones de años y crearon vida terrestre *ab initio*, en forma de unas ingeniosas nanomáquinas que los habrían ayudado en sus quehaceres. Si liberaron aquellos organismos sintéticos en el medio pero luego no desinfectaron adecuadamente, la implicación es de lo más grotesca: ¡podríamos ser los descendientes distantes de un biorresiduo que dejaron los alienígenas al partir! <<

[6.12] Es más plausible que la probabilidad aumente lentamente con el tiempo a medida que aumenta el número de planetas habitables, de modo que debería darse algo más de peso a la probabilidad de una visita alienígena en tiempos más recientes, aunque no tanto como para contradecir la conclusión general. <<

[6.13] Frank Drake ha hecho una sugerencia análoga en el mismo sentido: una civilización extraterrestre podría haber creado una baliza vertiendo una gran cantidad de un elemento raro con una vida media corta en su estrella madre. Un buen candidato es el tecnecio, que no se da de forma natural en la Tierra (aunque puede fabricarse). La presencia de líneas de tecnecio en el espectro de una estrella sería una fuerte indicación de una civilización tecnológica. <<

[6.14] Alan Weisman, *The World without Us*, Picador, Londres, 2007. (Hay trad. cast.: *El mundo sin nosotros*, Debate, Barcelona, 2007.) <<

[6.15] Se han encontrado trazas del isótopo Pu-244 en la Luna y en Oklo, pero no en concentraciones que llamen la atención. Existía cierta cantidad en el momento de la formación del sistema solar, pero en su mayor parte ya se ha desintegrado. <<

[6.16] Greg Bear, *The Forge of God*, Tor Books, Nueva York, 2001. (Hay trad. cast.: *La fragua de Dios*, Júcar, Gijón, 1987.) <<

[6.17] Olaf Stapledon, *Star Maker*, Methuen, Londres, 1937. (Hay trad. cast.: *Hacedor de estrellas*, Minotauro, Barcelona, 2008.) <<

[6.18] Recuerdo bien una seria conversación durante una comida en 1975, en la cafetería de estudiantes de la London School of Economics, cerca de King's College, donde por aquel entonces trabajaba en el Departamento de Matemáticas. Mi colega Chris Isham nos había explicado que presuntamente durante un experimento con rayos cósmicos a bordo de una sonda atmosférica se había detectado un monopolio magnético, y reflexionamos gravemente sobre el potencial de estas partículas como armas de destrucción masiva. <<

[6.19] Un artículo divulgativo al respecto es Dennis Overbye, «A whisper, perhaps, from the universe's dark side», *The New York Times*, 25 de noviembre de 2008. <<

[6.20] Curiosamente, las cuerdas cósmicas se han utilizado como posible explicación del pulso de Lorimer (véase la página 132), aunque sin sugerir en ningún momento la posibilidad de que esté implicada una tecnología extraterrestre. <<

[7.1] Freeman Dyson, «Search for artificial stellar sources of infrared radiation», *Science*, vol. 131 (1960), p. 1667. <<

[7.2] Richard A. Carrigan Jr, «IRAS-based whole-sky upper limit on Dyson spheres», en astro-ph 0811.2376. <<

[7.3] Para una discusión, véase Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker*, Norton, Nueva York, 1986. (Hay trad. cast.: *El relojero ciego*, RBA, Barcelona, 1993.) <<

[7.4] David Bohm, *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge, Londres, 1996.
(Hay trad. cast.: *La totalidad y el orden implicado*, Kairós, Barcelona, 2008.) <<

[7.5] Lawrence Krauss, *The Physics of Star Trek*, Harper & Row, Nueva York, 1996.

<<

[7.6] Para una revisión de los problemas, véase mi libro *How to Build a Time Machine*, Penguin/Viking, Londres y Nueva York, 2002. (Hay trad. cast.: *Cómo construir una máquina del tiempo*, 451 Editores, Madrid, 2008.) <<

[7.7] Los agujeros de gusano microscópicos y efímeros podrían ser una posibilidad, y en principio podrían hacerse en aceleradores de partículas como el Gran Colisionador de Hadrones del CERN. <<

[7.8] Arthur Eddington, *The Nature of the Physical World*, Cambridge University Press, Cambridge, 1928, p. 74. <<

[7.9] Para una explicación del modo en que se acelera la expansión del universo, véase mi libro *The Goldilocks Enigma*, Penguin, Londres, 2006, y Houghton Mifflin, Boston, 2008. <<

[7.10] La mecánica cuántica predice una probabilidad finita de que el universo caiga de un estado de vacío a otro más bajo. Si esto ocurriera en un punto concreto del espacio, crearía una burbuja que se expandiría a una velocidad cercana a la de la luz, destruyendo y arrasando toda la materia a su paso. Un buen relato de ciencia ficción sobre esta posibilidad es Stephen Baxter, *Manifold: Time*, Del Ray, Nueva York, 2000. <<

[7.11] La energía y presión negativas están relacionadas con la materia exótica necesaria para estabilizar los agujeros de gusano. <<

[8.1] S. Butler en *Canterbury Press*, 13 de junio 1863. <<

[8.2] *The Times online*, 24 de abril de 2007. <<

[8.3] Si eso ocurre, no es evidente que los humanos eligieran la mejora genético del tipo Mekon. Es fácil imaginar que el clamor por el *glamour* iría por delante. O quizá la aptitud para los deportes. <<

[8.4] Tampoco cuesta imaginar una sociedad de pesadilla, con monstruos y dolor. <<

[8.5] Alan Turing, «Can machines think?», *Mind*, vol. 59 (1950), p. 433. <<

[8.6] Paso por alto la deprimente posibilidad de que los humanos intenten programar las máquinas para que combatan en sus propias batallas literales y metafóricas, incluso después de que las máquinas los superen en inteligencia. <<

[8.7] No soy el único que defiende un universo postbiológico dominado por la inteligencia de «máquinas». El historiador de la ciencia Stephen Dick ha desarrollado la idea en profundidad. Véase su ensayo «Cultural evolution, the post-biological universe and SETI», *International Journal of Astrobiology*, vol. 2, n.º 1 (2003), p. 65.

<<

[8.8] Un SAT difiere de la simulación del proyecto Blue Brain que he comentado anteriormente, que tendría una identidad personal. Este último es una simulación de un cerebro real, no una entidad postbiológica. <<

[8.9] <http://www.aiveos.com:8080/~bradbury/MatrioshkaBrains/MatrioshkaBrainsPaper.html>. <<

[8.10] Es decir, dominado en términos intelectuales. En número, los cerebros-computadoras más pequeños proliferarían mucho más rápido. <<

[8.11] De hecho, una superposición es más general de lo que he descrito, porque la mezcla de caras y cruces puede ser un número complejo. <<

[8.12] Los resultados de una computación cuántica eluden las vaguedades genéricas de la incertidumbre cuántica sólo si se usan ciertos estados especialmente seleccionados en los puntos de entrada y salida. Ya se ha desarrollado un puñado de algoritmos cuánticos para resolver clases especiales de problemas matemáticos que aprovechan estos resultados. <<

[8.13] Como introducción, véase Gerard Milburn, *The Feynman Processor*, Basic Books, Nueva York, 1999. <<

[9.1] Stephen Baxter, «Renaissance v. revelation: the timescale of ETI signal interpretation» (comunicación personal). <<

[9.2] <http://www.coSETI.org/SETIprot.htm>. <<

[9.3] Seth Shostak, quien en aquel momento estaba allí, ofrece un relato gráfico de estos eventos en su libro *Confessions of an Alien Hunter: A Scientist's Search for Extraterrestrial Intelligence*, National Geographic, Washington, D.C., 2009. <<

[9.4] S. Shostak y C. Oliver, «Immediate reaction plan: a strategy for dealing with a SETI detection», en G. Lemarchand y K. Meech (eds.), *Bioastronomy 99: A New Era in the Search for Life*, ASP Conference Series, vol. 213 (2000), p. 635. <<

[9.5] *Ibíd.*, p. 636. <<

[9.6] *Ibíd.*, p. 635. <<

[9.7] El lector encontrará un relato vívido en Frank Close, *Too Hot to Handle: The Story of the Race for Cold Fusion*, W. H. Allen, Londres, 1990. <<

[9.8] Algo que casi llegó a ocurrir el 13 de enero de 2004, cuando en EE. UU. los astrónomos computaron una probabilidad de uno entre cuatro de que un asteroide de 500 metros de diámetro colisionara con la Tierra en un plazo de treinta y seis horas. Con buen sentido, se abstuvieron de llamar a la Casa Blanca a media noche y datos más precisos demostraron después que no había razón para la alarma. <<

[9.9] http://impact.arc.nasa.gov/news_detail.cfm?ID=122. <<

[9.10] *Acta Astronáutica*, vol. 21, n.º 2, p. 153 (1990). <<

[9.11] Un famoso engaño, conocido como asunto EQ Peg, se produjo el 28 de octubre de 1998 cuando un astrónomo aficionado anónimo de Gran Bretaña afirmó haber detectado una señal de una estrella relativamente cercana, EQ Pegasi, con la ayuda de un pequeño disco de radio perteneciente a la compañía de electrónica para la que trabajaba. No se observó entonces ninguno de los puntos del protocolo del SETI. La BBC difundió la historia, que enseguida atrajo la atención de los medios de comunicación de todo el mundo. Los científicos profesionales del SETI sospecharon desde el principio. Tras no lograr verificar la señal, Paul Shuch y sus colegas de la Liga SETI descubrieron que las imágenes de la señal habían sido elaboradas con un programa informático comercial. Cuando la Liga SETI y el Instituto SETI destaparon el engaño, la prensa amarilla, como era de esperar, los acusó de un siniestro encubrimiento. En ningún momento ninguna agencia gubernamental mostró el más mínimo interés. <<

[9.12] La imagen icónica de la salida de la Tierra desde la Luna, tomada por los astronautas de la misión Apollo, dio empuje al ascenso del ecologismo durante la década de 1970 al poner de manifiesto de una forma tan gráfica lo valioso y aislado que está nuestro pequeño refugio para la vida en medio de un universo hostil y violento. <<

[9.13] Carl Sagan, *The Cosmic Connection*, Hodder and Stoughton, Londres, 1974, pp. 218-219. (Hay trad. cast.: *La conexión cósmica*, Plaza & Janés, Barcelona, 1990.) <<

[9.14] P. W. Atkins, *The Second Law*, 2.^a ed., Scientific American Books, Nueva York, 1994, p. 200. (Hay trad. cast.: *La segunda ley*, Prensa Científica, Barcelona, 1992.)

<<

[9.15] Ya he discutido estas ideas con mayor profundidad en mi libro *The Cosmic Blueprint*, Simon & Schuster, Nueva York, 1988. (Hay trad. cast.: *Proyecto cósmico: nuevos descubrimientos acerca del orden del universo*, Pirámide, Madrid, 1989.) Véase también Stuart Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*, Oxford University Press, Oxford, 1996. <<

[9.16] Bertrand Russell, *Mysticism and Logic*, Barnes & Noble, Nueva York, 1917, pp. 47-48. (Hay trad. cast.: *Misticismo y lógica*, Edhasa, Barcelona, 2001.) <<

[9.17] Puede encontrarse un tratamiento en profundidad de la filosofía del progreso en John Barrow y Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press, Oxford, 1986. <<

[9.18] Martin Rees, *Our Final Hour*, Basic Books, Nueva York, 2003; *Our Final Century: Will the Human Race Survive the Twenty-First Century?*, William Heinemann, Londres, 2003. (Hay trad. cast.: *Nuestra hora final: ¿será el siglo XXI el último de la humanidad?*, Crítica, Barcelona, 2004.) <<

[9.19] Véase, por ejemplo Freeman Dyson, «Our biotech future», *The New York Review of Books*, vol. 51, n.º 12 (19 de julio de 2007). <<

[9.20] Ray Kurzweil, *The Singularity is Near*, Viking, Nueva York, 2005. <<

[9.21] En esta sección dejaré a un lado la posibilidad de que ET sea alguna especie de máquina inteligente o incluso un SAT, pues ya es bastante difícil discutir la dimensión moral de unos organismos biológicos extraterrestres. <<

[9.22] Hay una tercera solución: que los alienígenas sean salvados mediante algún otro modo de intervención divina sobre la que no podemos ni especular. Sin embargo, esta respuesta no hace más que meter el problema en el saco de lo «demasiado difícil». <<

[9.23] <http://padrefunes.blogspot.com/2008/05/extraterrestrial-is-my-brother.html>. <<

[9.24] Ted Peters y Julie Froehlig, «The Peters ETI religious crisis survey», 2008, <http://www.counterbalance.net/etsurv/index-frame.html>. <<

[9.25] Al menos eso se suele decir, aunque Ernan McMullin, un filósofo de la religión, lo critica por simplista. <<

[9.26] <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/W/Whewell.html>. <<

[9.27] William Whewell, *The Plurality of Worlds*, Gould and Lincoln, Boston, 1854.

<<

[9.28] Emanuel Swedenborg, *Earths in the Universe*, The Swedenborg Society, Londres, 1970. (El texto forma parte de una obra más extensa: *De telluribus in mundo nostro solari* [N. del t.]) <<

[9.29] *Ibíd.*, p. 47. <<

[9.30] *Ibíd.*, p. 60. <<

[9.31] *Ibíd.*, p. 3. <<

[9.32] E. A. Milne, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, Clarendon Press, Oxford, 1952, p.153. <<

[9.33] La propuesta de Milne fuertemente criticada en 1956 por E. L. Mascall, filósofo y sacerdote, en favor de múltiples encarnaciones para salvar a cualesquiera «seres corpóreos racionales que hayan pecado y necesiten la redención». Véase E. L. Mascall, *Christian Theology and Natural Science*, Ronald Press, Nueva York, 1956, p. 37. <<

[9.34] Para una revisión actualizada, véase Ernan McMullin, «Life and intelligence far from Earth: formulating theological issues», en Steven Dick (ed.), *Many Worlds*, Templeton Foundation Press, West Conshohocken, Pensilvania, 2000, pp. 151-175.

<<

[9.35] www.davidbrin.com/shouldSETItransmit.html. <<

[9.36] www.crichton-official.com. <<

[9.37] George Basalla, *Civilized Life in the Universe: Scientists on Intelligent Extraterrestrials*, Oxford University Press, Oxford, 2006. <<

[9.38] Margaret Wertheim, *The Pearly Gates of Cyberspace*, Norton, Nueva York, 2000, p. 132. <<

[9.39] Stephen Baxter ha hecho una útil recopilación de ciencia ficción relacionada con el SETI y la espiritualidad: «Imagining the alien: the portrayal of extraterrestrial intelligence in SETI and science fiction», www.stephenbaxter.com. <<

[10.1] <http://www.davidbrin.com/SETIsearch.html>. <<

[10.2] David Whitehouse, «Meet the neighbours: Is the search for aliens such a good idea?», *Independent*, 25 de junio de 2007. <<

[10.3] Por lo que yo sé, nunca se han dirigido al espacio pulsos intensos de láser. <<

[10.4] John Billingham, Michael Michaud y Jill Tarter, «The declaration of principles for activities following the detection of extraterrestrial intelligence», en *Bioastronomy: The Search for Extraterrestrial Life – The Exploration Broadens*, Actas del Tercer Simposio Internacional de Bioastronomía, Val Cenis, Savoya, Francia, 18-23 de junio de 1990, Springer, Heidelberg, 1991. <<

[10.5] Mi esposa no está de acuerdo; tiene curiosidad por conocer la forma física de los extraterrestres. <<

[10.6] Douglas Vakoch, director del Interstellar Message Composition del Instituto SETI, tiene otra visión. Cree que todos los mensajes compuestos hasta el momento dibujan un imagen de la humanidad de una carácter demasiado positivo, pues resaltan la cooperación, la sensibilidad artística y la capacidad tecnológica. Falta cualquier mención del lado oscuro de la naturaleza humana, las guerras, el expolio del planeta, la codicia. Los mensajes reflejan nuestras más dignas aspiraciones, no la realidad. Véase www.space.com/searchforlife/080410-SETI-shadow-ourselves.html. <<

[10.7] Véase John Barrow, *The Artful Universe*, Oxford University Press, Londres y Nueva York, 1995. (Hay trad. cast.: *El universo como obra de arte*, Crítica, Barcelona, 2007.) <<

[10.8] Para una revisión, véase Douglas Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*, Harvester Press, Lewes, 1979. (Hay trad. cast.: *Gödel, Escher, Bach: un eterno y grácil bucle*, Tusquets, Barcelona, 2007.) <<

[10.9] David Brin, «Shouting at the cosmos», [http://www.davidbrin.com/ should SETItransmit.html](http://www.davidbrin.com/shouldSETItransmit.html). <<

[10.10] Le agradezco la observación a Chris McKay. <<